



Armando Pedro da Silva

Licenciado em ciências da Engenharia Mecânica

CONTRIBUTOS PARA A SISTEMATIZAÇÃO DO TOLERANCIAMENTO NO PROJECTO DE FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: António Mourão, Professor, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2012

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

**CONTRIBUTOS PARA A SISTEMATIZAÇÃO DO
TOLERANCIAMENTO NO PROJECTO DE FERRAMENTAS
DE ESTAMPAGEM**

Por:

Armando Pedro da Silva

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção
do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor António José Freire Mourão

Lisboa
2012

CONTRIBUTOS PARA A SISTEMATIZAÇÃO DO TOLERANCIAMENTO NO PROJECTO DE FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM

“Copyright” em nome de Armando Pedro da Silva, da FCT/UNL e da UNL. A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedicatória e agradecimentos

Dedico esta dissertação a todos aqueles que se mostraram incansáveis ao meu lado nesta luta pelo alcance de um grau de habilitações sem o qual, neste país, não somos nada.

Agradeço ao Professor Doutor António José Freire Mourão pela oportunidade de alargar os meus conhecimentos e desenvolver este trabalho. E ainda pela disponibilidade prestada sempre que necessário e pelas suas orientações.

Agradeço à “APAL Cunhos e Cortantes Lda.”, em particular ao Engenheiro Vítor Pereira pelas informações, dados sobre empresa facultados e pela grande disponibilidade demonstrada.

Um especial obrigado a todos os amigos e colegas pela ajuda, apoio paciente e motivação no período de realização da dissertação.

Resumo

Esta dissertação pretende contribuir para o desenvolvimento de um sistema racional de toleranciamento funcional de ferramentas de estampagem, a partir das tolerâncias especificadas no desenho da peça a estampar.

Com o desenvolvimento desta metodologia pretende-se dar uma maior importância à fase de projecto da ferramenta. É nesta fase que o *GD&T* (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*) é analisado e definido. Pode afirmar-se que a aplicação correcta do *GD&T* permite reduzir os tempos de montagem e testes da ferramenta, permitindo diminuir significativamente o tempo final de construção. A constatação destes valores exprime exactamente o que se pretende como contributo desta dissertação, através da aplicação do toleranciamento para reduzir o tempo de montagem e testes finais.

O trabalho de desenvolvimento da metodologia em colaboração com uma empresa do sector, centrou-se num projecto de ferramenta, em particular no que se refere às operações de corte. A metodologia é expressa através de um fluxograma com as etapas do processo de toleranciamento na fase de projecto das ferramentas de estampagem. Com auxílio deste fluxograma foi possível determinar quais as tolerâncias, dimensionais e geométricas, que contribuem para uma melhoria no projecto de ferramentas e quais os seus valores. Apesar da aplicação da metodologia ser geral terá de ser analisada caso a caso.

Os resultados obtidos foram elucidativos demonstrando que a aplicação da metodologia desenvolvida permite tornar o projecto de uma ferramenta de estampagem mais eficiente do ponto de vista dos respectivos controlo em curso de fabrico e da montagem. Tendo em conta que o estudo foi desenvolvido para uma determinada ferramenta e para operações de corte, torna-se necessária a sua aplicação a outros casos para validação de capacidade e para extensão a outras operações executadas nas ferramentas.

Palavras-chave:

Ferramentas de estampagem; Projecto mecânico; Toleranciamento dimensional; Toleranciamento geométrico;

Abstract

This dissertation seeks to contribute to the development of a rational system of functional tolerancing applied to stamping tools, from the tolerances specified on the part drawing stamping.

With the development of this methodology it is intended to give greater importance to the tool design stage. It is at this stage that *GD&T* (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*) is analyzed and defined. It can be said that the correct application of *GD&T* reduces assembly times and testing tool, allowing significantly decrease the total construction time. The confirmation of these values expresses exactly what is intended as a contribution of this dissertation, through the application of tolerancing to reduce the assembly and testing time.

The methodology development work in collaboration with a company in the sector, focused on a design tool, particularly with regard to cutting operations. The methodology is expressed through a flowchart with process steps on tolerancing of the design phase of stamping tools. With the assistance of this flowchart it was possible to determine which tolerances, dimensional and geometric contribute to an improvement in the project of tools and which are their values. Although the application of the methodology become general must be analyzed case by case.

The results were elucidative proving that the application of the methodology developed allows generate a stamping tool design more effective, from their respective control in progress manufacturing and assembly. Due to the fact the study was developed for a specific tool and cutting operations, one needs to its application to other cases to validate capacity and extension to other operations performed in the tools.

Keywords:

Stamping tools; Mechanical design; Dimensional tolerance; Geometric tolerance;

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	- 1 -
1.1	PRÓLOGO.....	- 1 -
1.2	OBJECTIVOS	- 2 -
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	- 3 -
1.4	FERRAMENTAS DE ESTAMPAGEM – INDÚSTRIA.....	- 4 -
1.4.1	<i>Análise sumária do sector dos moldes e ferramentas especiais em Portugal</i>	- 4 -
1.5	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA DO CASO DE ESTUDO APAL.....	- 11 -
2	ENQUADRAMENTO GERAL DAS TOLERÂNCIAS.....	- 15 -
2.1	CONCEITOS GERAIS	- 15 -
2.1.1	<i>Tolerâncias no projecto de ferramentas</i>	- 17 -
3	ESTUDO FUNCIONAL DE UM PROJECTO DE FERRAMENTA PROGRESSIVA NA PERSPECTIVA DAS TOLERÂNCIAS.....	- 21 -
3.1	ANÁLISE DA PEÇA A ESTAMPAR.....	- 21 -
3.2	ANÁLISE DA FERRAMENTA À LUZ DAS TOLERÂNCIAS DA PEÇA.....	- 23 -
3.2.1	<i>Componentes das ferramentas de estampagem</i>	- 23 -
4	PROJECTO DE TOLERÂNCIAS PARA O CASO DE ESTUDO.....	- 33 -
4.1	FLUXOGRAMA DE METODOLOGIA UTILIZADA	- 33 -
4.2	FLUXOGRAMA PARA DETERMINAÇÃO DAS TOLERÂNCIAS DE POSIÇÃO	- 38 -
4.3	ESPECIFICAÇÕES CRÍTICAS DA PEÇA	- 40 -
4.4	DETERMINAÇÃO DAS DEFINIÇÕES RELEVANTES DA FERRAMENTA.....	- 42 -
4.4.1	<i>Metodologia para a determinação das tolerâncias</i>	- 42 -
4.4.2	<i>Cálculos</i>	- 42 -
5	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	- 68 -
5.1	COMPARAÇÃO DAS TOLERÂNCIAS DETERMINADAS COM AS TOLERÂNCIAS INDICADAS NOS COMPONENTES DE CATÁLOGO.	- 68 -
6	ANÁLISE DE ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA FERRAMENTA.....	- 75 -
7	CONCLUSÕES	- 77 -
8	BIBLIOGRAFIA	- 78 -
9	ANEXOS	- 80 -

Índice de Figuras

<i>Figura 1 - Descrição geral do trabalho.....</i>	<i>- 3 -</i>
<i>Figura 2: Áreas fundamentais de evolução tecnológica do sector dos moldes e ferramentas especiais. [4].....</i>	<i>- 4 -</i>
<i>Figura 3 – Sectores de efeito directo e serviços associados ao sector dos moldes e ferramentas especiais. [4] -</i>	<i>- 6 -</i>
<i>Figura 4 - Comparação de salários entre valores da média dos países da ISTMA e os valores de Portugal. [7]. -</i>	<i>- 7 -</i>
<i>Figura 5 – Evolução da percentagem do volume de negócios dispendida em actividades de inovação e I&D entre 2004 e 2006. Fonte: Questionário às empresas no âmbito do diagnóstico do sector, 2007. [7]</i>	<i>- 9 -</i>
<i>Figura 6 – Grau de importância do desenvolvimento de actividades de Inovação e I&D. [7].....</i>	<i>- 10 -</i>
<i>Figura 7 - Imagem da área fabril - maquinaria</i>	<i>- 11 -</i>
<i>Figura 8 - Imagem da área fabril - montagem.....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>Figura 9 - Peças produzidas pela APAL.....</i>	<i>- 11 -</i>
<i>Figura 10 - Exemplo de uma peça complexa produzida pela APAL</i>	<i>- 11 -</i>
<i>Figura 11 - Etapas do processo de encomenda de uma ferramenta e lançamento do trabalho na empresa. -</i>	<i>- 12 -</i>
<i>Figura 12: Identificação do trabalho da dissertação num modelo de integração do projecto conceptual de uma ferramenta.</i>	<i>- 13 -</i>
<i>Figura 13: Banda com sequência de operações</i>	<i>- 14 -</i>
<i>Figura 14: Banda com sequência de operações posicionada na respectiva ferramenta</i>	<i>- 14 -</i>
<i>Figura 15: Ferramenta estudada</i>	<i>- 14 -</i>
<i>Figura 16: Influência das tolerâncias no custo de produção [10].....</i>	<i>- 15 -</i>
<i>Figura 17 - Informação sobre o produto vs Tempo; Custo de alteração vs Tempo; Possibilidade de proceder a alterações vs. Tempo. [11]</i>	<i>- 16 -</i>
<i>Figura 18: Valor da tolerância em função do perfil e perímetro de corte. (Adaptado de [15]).....</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Figura 19 – Representação do corte [16]</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Figura 20 - Comportamento do material na operação de corte [16]</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Figura 21 – Comportamento do material na operação de corte [16]</i>	<i>- 18 -</i>
<i>Figura 22: Folga em função da espessura [16].</i>	<i>- 19 -</i>
<i>Figura 23: Imagem da peça a ser estudada</i>	<i>- 21 -</i>
<i>Figura 24: Desenho da peça fornecido pelo cliente.....</i>	<i>- 22 -</i>
<i>Figura 25 – Imagem em perspectiva da ferramenta do caso de estudo na posição fechada. (Desenhado em Solidworks).....</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Figura 26 - Imagem da ferramenta do caso de estudo na posição elevada. (Desenhado em Solidworks)</i>	<i>- 23 -</i>
<i>Figura 27 – Imagem da ferramenta explodida. (Desenhado em Solidworks).</i>	<i>- 24 -</i>
<i>Figura 28: Exemplo de bandas realizadas na APAL.....</i>	<i>- 25 -</i>
<i>Figura 29: Sequência de operações da banda do caso de estudo.</i>	<i>- 26 -</i>
<i>Figura 30: Imagem da banda.</i>	<i>- 27 -</i>
<i>Figura 31: Base e matrizes do caso de estudo.</i>	<i>- 28 -</i>
<i>Figura 32: Disposição dos componentes do tecto.</i>	<i>- 29 -</i>
<i>Figura 33: Imagem das colunas no caso de estudo.....</i>	<i>- 30 -</i>
<i>Figura 34: Exemplo da cotagem de dois elementos através dos eixos de referência na base.</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Figura 35: Exemplo da cotagem de dois elementos através dos eixos de referência no porta-pisas.</i>	<i>- 31 -</i>
<i>Figura 36: Exemplo da cotagem de dois elementos através dos eixos de referência no tecto.</i>	<i>- 32 -</i>
<i>Figura 37 – Fluxograma da metodologia proposta para a sistematização do toleranciamento no projecto de ferramentas.....</i>	<i>- 35 -</i>
<i>Figura 38 - Processo de determinação da tolerância de posição.</i>	<i>- 36 -</i>
<i>Figura 39 - Processo de determinação da tolerância dimensional do furo B.</i>	<i>- 37 -</i>
<i>Figura 40 – Fluxograma para determinação das tolerâncias de posição</i>	<i>- 38 -</i>
<i>Figura 41 – Exemplo do esquema de montagem dos componentes para a realização de um corte.</i>	<i>- 39 -</i>
<i>Figura 42 - Exemplos de características relevantes da peça para o trabalho a desenvolver</i>	<i>- 40 -</i>
<i>Figura 43 - Banda com a respectiva sequência de passos</i>	<i>- 41 -</i>
<i>Figura 44 - Pormenor das tolerâncias impostas na peça a estampar.</i>	<i>- 41 -</i>
<i>Figura 45 – Referências A, B e C para a base.</i>	<i>- 43 -</i>
<i>Figura 46 – Referências A, B e C para o tecto.</i>	<i>- 43 -</i>
<i>Figura 47 - Tolerância do furo de referência B no desenho da peça.....</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Figura 48 - Processo de determinação da tolerância de posição do furo B.</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Figura 49 - Folga entre punção e matriz no furo B.....</i>	<i>- 45 -</i>
<i>Figura 50 - Processo de determinação da tolerância dimensional do furo B.</i>	<i>- 46 -</i>
<i>Figura 51 – Indicação das tolerâncias dimensionais e de posicionamento da bucha de corte para o furo de referência B</i>	<i>- 47 -</i>

<i>Figura 52 – Esquema da montagem dos componentes da parte inferior da ferramenta que permitem obter o corte de referência B.</i>	<i>47 -</i>
<i>Figura 53 – Tolerância de posição inicial e tolerância de concentricidade do porta-bucha.....</i>	<i>48 -</i>
<i>Figura 54 – Esquema da furação na matriz do corte de referência B.</i>	<i>48 -</i>
<i>Figura 55 – Imagem de corte dos furos do porta-bucha.</i>	<i>49 -</i>
<i>Figura 56 – Esquema da decomposição de tolerâncias para a base do furo “B”.</i>	<i>49 -</i>
<i>Figura 57 – Tolerâncias de posicionamento para se cumprir a especificação do furo “B” (base).....</i>	<i>50 -</i>
<i>Figura 58 – Montagem dos componentes da parte superior da ferramenta que permitem obter o corte de referência B.</i>	<i>50 -</i>
<i>Figura 59 – Imagem de corte da montagem dos componentes da parte superior da ferramenta que permitem obter o corte de referência B.....</i>	<i>51 -</i>
<i>Figura 60 -Indicação das tolerâncias dimensionais e de posicionamento do punção o furo de referência B ...</i>	<i>51 -</i>
<i>Figura 61 - Tolerância de posição inicial e tolerância de concentricidade do porta-bucha.</i>	<i>52 -</i>
<i>Figura 62 – Imagem dos furos que permitem a ligação dos componentes que executam o corte B.</i>	<i>52 -</i>
<i>Figura 63 – Esquema de ligação dos componentes ao tecto.</i>	<i>53 -</i>
<i>Figura 64 - Esquema da decomposição da tolerância de posicionamento do porta-punção principal para o porta-punção secundário (furo B - Tecto).</i>	<i>53 -</i>
<i>Figura 65 – Indicação da decomposição das tolerâncias do punção, porta-punção principal e porta-punção secundário.....</i>	<i>54 -</i>
<i>Figura 66 – Esquema da decomposição da tolerância do porta-punção secundário para a base (furo B - tecto)...</i>	<i>54 -</i>
<i>Figura 67 – Indicação da decomposição das tolerância do porta-punção secundário para a base (furo B - tecto). -</i>	<i>55 -</i>
<i>Figura 68 – Tolerâncias de posicionamento para se cumprir a especificação do furo “B” (tecto).</i>	<i>55 -</i>
<i>Figura 69 - Tolerância do furo de referência C no desenho da peça.....</i>	<i>56 -</i>
<i>Figura 70 - Folga entre punção e matriz no furo C.....</i>	<i>57 -</i>
<i>Figura 71 - Processo de determinação da tolerância de posição do furo C.</i>	<i>57 -</i>
<i>Figura 72 - Processo de determinação da tolerância dimensional do furo C.</i>	<i>57 -</i>
<i>Figura 73 - Processo de determinação da tolerância dimensional do furo C.</i>	<i>58 -</i>
<i>Figura 74 – Processo de determinação da tolerância de posição do furo C.....</i>	<i>59 -</i>
<i>Figura 75 – Esquema dos componentes da parte inferior da ferramenta que executam o corte C.</i>	<i>59 -</i>
<i>Figura 76 - Indicação das tolerâncias dimensionais e de posicionamento da bucha de corte para o furo de referência C.</i>	<i>60 -</i>
<i>Figura 77 – Tolerâncias de posicionamento da bucha e porta-bucha.</i>	<i>60 -</i>
<i>Figura 78 – Esquema da furação na matriz do corte de referência C.</i>	<i>61 -</i>
<i>Figura 79 – Esquema da decomposição de tolerâncias para a base do furo “C”.</i>	<i>61 -</i>
<i>Figura 80 – Tolerâncias de posicionamento para se cumprir a especificação do furo “B” (base).....</i>	<i>62 -</i>
<i>Figura 81 – Montagem dos componentes da parte superior da ferramenta que permitem obter o corte de referência C.</i>	<i>62 -</i>
<i>Figura 82 -Indicação das tolerâncias dimensionais e de posicionamento do punção o furo de referência C ...</i>	<i>63 -</i>
<i>Figura 83 – Tolerâncias de posicionamento do punção e porta-punção principal.....</i>	<i>63 -</i>
<i>Figura 84 – Imagem dos furos que permitem a ligação dos componentes que executam o corte B.</i>	<i>64 -</i>
<i>Figura 85 – Esquema de ligação dos componentes ao tecto.</i>	<i>64 -</i>
<i>Figura 86 - Esquema da decomposição da tolerância de posicionamento do porta-punção principal para o porta-punção secundário (furo C - Tecto).</i>	<i>65 -</i>
<i>Figura 87 – Indicação da decomposição das tolerâncias do punção, porta-punção principal e porta-punção secundário (furo C).</i>	<i>65 -</i>
<i>Figura 88 – Esquema da decomposição da tolerância do porta-punção secundário para a base (furo B - tecto)...</i>	<i>66 -</i>
<i>Figura 89 – Indicação da decomposição das tolerância do porta-punção secundário para a base (furo C - tecto). -</i>	<i>66 -</i>
<i>Figura 90 – Tolerâncias de posicionamento para se cumprir a especificação do furo “C” (tecto).</i>	<i>67 -</i>
<i>Figura 91 – Bucha de corte para o furo B com as cotas determinadas no estudo.</i>	<i>69 -</i>
<i>Figura 92 - Precision Matrixes with shoulder,</i>	<i>69 -</i>
<i>Figura 93 – Desenho com as cotas da peça.</i>	<i>69 -</i>
<i>Figura 94 – Punção utilizado na ferramenta do caso de estudo.</i>	<i>70 -</i>
<i>Figura 95 - Precision Punches, stepped, ISO 8020.....</i>	<i>70 -</i>
<i>Figura 96 – Desenho do punção de corte com as cotas.</i>	<i>70 -</i>
<i>Figura 97 - Triangle Precision Retainers for round Punches, ISO 8020.</i>	<i>71 -</i>

<i>Figura 98 - Desenho do porta-punção com as cotas.</i>	<i>- 71 -</i>
<i>Figura 99 – Componentes principais para realização do corte B.</i>	<i>- 73 -</i>
<i>Figura 100 - Exemplo de um porta-punção.</i>	<i>- 75 -</i>
<i>Figura 101 - Exemplo de um punção de corte.</i>	<i>- 75 -</i>
<i>Figura 102 - Solução para o dispositivo de fixação do punção.</i>	<i>- 76 -</i>
<i>Figura 103 – Porta-pisa após oxicorte.</i>	<i>- 80 -</i>
<i>Figura 104 – Porta-pisa maquinado.</i>	<i>- 80 -</i>
<i>Figura 105 – Porta-pisa maquinado, em perspectiva.</i>	<i>- 80 -</i>
<i>Figura 106 – Berço após oxicorte.</i>	<i>- 80 -</i>
<i>Figura 107 – Berço maquinado.</i>	<i>- 80 -</i>
<i>Figura 108 – Berço maquinado, em perspectiva.</i>	<i>- 80 -</i>
<i>Figura 109 – Base após Oxicorte.</i>	<i>- 81 -</i>
<i>Figura 110 – Base maquinada.</i>	<i>- 81 -</i>
<i>Figura 111 – Base maquinada, em perspectiva.</i>	<i>- 81 -</i>
<i>Figura 112 – Tecto após Oxicorte.</i>	<i>- 81 -</i>
<i>Figura 113 – Tecto maquinado.</i>	<i>- 81 -</i>
<i>Figura 114 – Tecto maquinado em perspectiva.</i>	<i>- 81 -</i>
<i>Figura 115 – Exemplo do desenho completo de uma ferramenta.</i>	<i>- 82 -</i>
<i>Figura 116 – Exemplo de ferramenta progressiva de estampagem.</i>	<i>- 82 -</i>
<i>Figura 117 - Imagem da ferramenta do caso de estudo na posição fechada. Desenhado em Solidworks.</i>	<i>- 83 -</i>
<i>Figura 118 - Imagem em perspectiva da ferramenta do caso de estudo na posição elevada. Desenhado em Solidworks.</i>	<i>- 83 -</i>
<i>Figura 119 – Imagem da ferramenta explodida. Desenhado em Solidworks.</i>	<i>- 83 -</i>
<i>Figura 120 - Matriz_1-: para recorte do perfil lateral.</i>	<i>- 84 -</i>
<i>Figura 121 – Montagem da matriz_1 e matriz_1-: para recorte do perfil lateral.</i>	<i>- 84 -</i>
<i>Figura 122 – Porta-bucha2 para corte de referência B.</i>	<i>- 84 -</i>
<i>Figura 123 – Porta-bucha2 e Porta-bucha3 para realização dos cortes de referência B e C.</i>	<i>- 84 -</i>
<i>Figura 124 – Bucha para corte de referência B.</i>	<i>- 84 -</i>
<i>Figura 125 - Bucha para corte de referência C.</i>	<i>- 84 -</i>
<i>Figura 126 – Porta-punções_9.</i>	<i>- 85 -</i>
<i>Figura 127 – Montagem do porta-punções_9.</i>	<i>- 85 -</i>
<i>Figura 128 - Punção de corte_3.</i>	<i>- 85 -</i>
<i>Figura 129 – Montagem do punção de corte_3.</i>	<i>- 85 -</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1 – Considerações importantes no projecto [1].....</i>	<i>- 1 -</i>
<i>Tabela 2: Comparação do tempo de fabrico de ferramentas de estampagem. [2].</i>	<i>- 2 -</i>
<i>Tabela 3 – Valores horários salariais do trabalho de projecto e de operador / programador de máquinas-ferramentas (fonte: istma_report_2002_2003 [7])</i>	<i>- 7 -</i>
<i>Tabela 4 – Ordenação de valores horários relativos a projectistas</i>	<i>- 8 -</i>
<i>Tabela 5 – Ordenação de valores horários relativos a operadores e programadores</i>	<i>- 8 -</i>
<i>Tabela 6: Símbolos de tolerâncias geométricas [13].</i>	<i>- 16 -</i>
<i>Tabela 7 – Valor da tolerância em função da espessura da chapa e perímetro de corte (Adaptado de [14]) ..</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Tabela 8 – Valor da tolerância em função da espessura e perímetro de corte (Adaptado de [15]).</i>	<i>- 17 -</i>
<i>Tabela 9: Folga em função da força de corte [17].</i>	<i>- 19 -</i>
<i>Tabela 10 - Valores recomendados para a folga punção – matriz em função do material e da tensão de corte. [16].</i>	<i>- 20 -</i>
<i>Tabela 11: Descrição das operações efectuadas na banda.....</i>	<i>- 26 -</i>
<i>Tabela 12 – Tolerâncias consideradas críticas e as que não produzem especificações no projecto.</i>	<i>- 36 -</i>
<i>Tabela 13 – DSM com a sequência de relações de posicionamento entre os componentes do furo de referência B.</i>	<i>- 44 -</i>
<i>Tabela 14 - DSM com a sequência de relações entre os componentes do furo de referência C.</i>	<i>- 56 -</i>
<i>Tabela 15 – Valores para as cotas indicadas no desenho do porta-bucha.</i>	<i>- 69 -</i>
<i>Tabela 16 - Valores para as cotas indicadas no desenho do punção.</i>	<i>- 71 -</i>
<i>Tabela 17 - Valores para as cotas indicadas no desenho do porta-punção.</i>	<i>- 72 -</i>
<i>Tabela 18 – Processo tecnológico utilizado em cada um dos componentes principais.</i>	<i>- 73 -</i>

1 Introdução

1.1 Prólogo

*“Do not go where the path may lead,
go instead where there is no path and leave a trail.”*

Ralph Waldo Emerson

A essência da engenharia é a utilização de recursos e leis da natureza para o benefício da humanidade. A engenharia é a aplicação da ciência, no sentido em que emprega os princípios da ciência para obter resultados práticos. A engenharia mecânica tem uma importância enorme nos segmentos das engenharias. Lida com a concepção, design, desenvolvimento, afinação, e aplicações mecânicas e aparelhos mecânicos de todos os tipos. [1].

A maioria dos projectos de engenharia envolve múltiplas considerações. Cabe ao engenheiro de projecto identificá-las e determinar a sua importância. Embora a lista de verificação apresentada na Tabela 1 não esteja totalmente adequada ou completa, esta ajuda a organizar as considerações de maior importância.

Tabela 1 – Considerações importantes no projecto [1]

Considerações tradicionais	Considerações modernas
1. Materiais	1. Segurança
2. Geometria	2. Ecologia
3. Condições de operação	3. Qualidade de vida
4. Custo	4. Fiabilidade
5. Disponibilidade	5. Capacidade de manutenção
6. Produtividade	6. Ergonomia
7. Vida útil	7. Estética

Analisando a tabela é possível observar-se que no passado os projectistas centravam-se nas características funcionais e económicas no projecto de novos equipamentos. Recentemente existe um esforço crescente na relação dos produtos com as pessoas e o meio ambiente. A segurança é uma preocupação que os projectistas terão de ter sempre em mente nos nossos dias.

1.2 Objectivos

A presente dissertação pretende contribuir, de forma simples, para demonstrar que através da actividade de projecto é possível dar um contributo muito relevante para a competitividade desta indústria.

Na Tabela 2 apresenta-se a comparação dos tempos de produção de ferramentas de estampagem nos EUA e Japão. Os japoneses demoram cerca de 20 semanas para completar uma ferramenta, enquanto as empresas dos EUA levam aproximadamente 35 semanas para completar a mesma ferramenta, portanto, uma diferença de 44%. As principais diferenças estão na montagem e testes da ferramenta. Estas diferenças devem-se principalmente ao facto dos nipónicos darem uma maior importância à fase de projecto da ferramenta, a única fase em que os japoneses demoram mais do que os americanos. É nesta fase que o toleranciamento e dimensionamento são analisados e definidos. Pode afirmar-se que a aplicação correcta do toleranciamento e dimensionamento permite reduzir os tempos de montagem e testes da ferramenta, permitindo diminuir significativamente o tempo final de construção. A constatação destes valores exprime exactamente o que se pretende como contributo desta dissertação, através da aplicação do toleranciamento reduzir o tempo de montagem e testes finais.

Tabela 2: Comparação do tempo de fabrico de ferramentas de estampagem. [2].

Tempo (semanas)	Média EUA	Média Japão	% Relativamente aos EUA
Projecto da ferramenta	4.6	5.3	-14%
Moldes e castings	5.8	5.1	11%
Maquinação e montagem	16.4	6.4	61%
Testes	7.6	2.8	64%
Total	34.4	19.5	44%

A indicação das tolerâncias geométricas não implica necessariamente o uso particular de qualquer método de produção, medição ou inspecção. Porém, uma correcta interpretação do toleranciamento geométrico faculta uma ajuda preciosa para o estabelecimento dos processos de produção, medição e inspecção nas várias fases de produção.

O desenvolvimento geral (Figura 1) de trabalho foi definido em conjunto com uma empresa de projecto e fabrico de ferramentas de estampagem (APAL). No decorrer do trabalho houve diversos contactos com a empresa com o intuito de conhecer as instalações, os processos tecnológicos e acompanhar o processo de projecto e produção da ferramenta

Foi decidido proceder ao estudo de uma ferramenta que tinha sido recentemente projectada, o que permite uma análise pormenorizado e detalhada do projecto, dificuldades de fabrico e montagem. Após a sua construção a ferramenta do caso de estudo passou por uma fase de afinação e testes, onde se verificou que cumpria as especificações impostas pelo cliente.

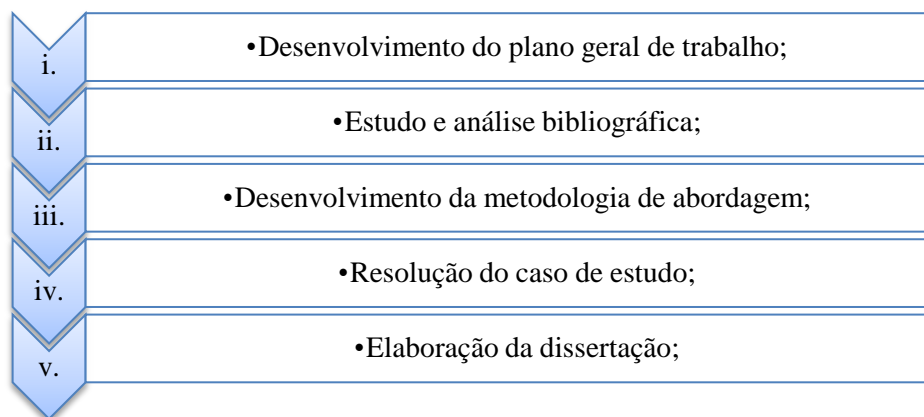


Figura 1 - Descrição geral do trabalho

Para a obtenção de competências e conhecimentos foram analisados diversos documentos relativos aos temas das ferramentas de estampagem e toleranciamento. Foram estudados alguns exemplos de aplicação da cotagem funcional de mecanismos, mostrando o encadeamento de um processo completo de toleranciamento. Um destes exemplos foi uma bomba centrífuga [3]. O exemplo é relativamente extenso, devido a esse facto não se encontra no trabalho. Finalizadas as etapas iniciais, seguiu-se o desenvolvimento da metodologia de abordagem, resolução de casos e elaboração da dissertação.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em 7 capítulos. Começa com a Introdução seguindo-se o Enquadramento Geral de Tolerâncias, Estudo funcional de um projecto de ferramenta progressiva na perspectiva das tolerâncias, Projecto de tolerâncias para o caso de estudo, Análise de resultados, Análise de aspectos construtivos da ferramenta e Conclusão. Na “Introdução” surgem os objectivos do trabalho, uma análise sumária da indústria de ferramentas especiais em Portugal e a apresentação da empresa do caso de estudo. No capítulo “Enquadramento Geral de Tolerâncias” tem como objectivo a apresentação de conceitos gerais sobre o tema do toleranciamento. O terceiro capítulo “Estudo funcional de um projecto de ferramenta progressiva na perspectiva das tolerâncias” pretende analisar a peça a estampar do caso de estudo, bem como a análise da ferramenta à luz das tolerâncias da peça. O capítulo “Projecto de tolerâncias para o caso de estudo” tem como objectivo definir a metodologia que permite a implementação das tolerâncias no projecto de ferramentas de estampagem e a determinação de valores para estas tolerâncias. Com o capítulo “Análise de resultados” pretende-

se analisar e entender os valores de tolerâncias determinados e a aplicação desta metodologia. Por último apresentam-se as conclusões gerais desta dissertação.

1.4 Ferramentas de estampagem – Indústria

1.4.1 Análise sumária do sector dos moldes e ferramentas especiais em Portugal

É necessário perceber-se a indústria de estampagem para se conhecer a sua dimensão, influência, utilidade entre outros aspectos.

A presente análise é feita com base em extractos do “Plano Estratégico dos Moldes em Portugal” publicado em 2008 [4]. Apesar do plano se centrar nos moldes, parece ressaltar deste documento um conjunto de afirmações e de dados relevantes no contexto das ferramentas de estampagem. É de referir que a associação empresarial dos moldes CEFAMOL [5] e o centro tecnológico CENTIMFE [6] congregam também as empresas de ferramentas especiais.

Extractos em baixo referidos, seguidos de comentários considerados pertinentes no contexto da presente dissertação:

1. *“Do ponto de vista tecnológico, assistiu-se nas últimas duas décadas a um forte desenvolvimento das tecnologias tradicionais e ao aparecimento de novas tecnologias para o processamento dos diferentes materiais metálicos.”*
2. *“Nas últimas décadas verificou-se ainda uma crescente afirmação do sector nas áreas da concepção, desenvolvimento e engenharia de produto, bem como na oferta de novos serviços, que ampliaram a sua cadeia de valor.”*
3. *“Incorporou progressivamente métodos e conceitos de engenharia” (ver Figura 2).*



Figura 2: Áreas fundamentais de evolução tecnológica do sector dos moldes e ferramentas especiais. [4]

A Figura 2 tem um pormenor curioso, o bloco da concepção, desenvolvimento e engenharia do produto tem duas saídas, para os blocos Fabricos de moldes e serviços no produto,

porém não tem qualquer interacção com o bloco concepção e projecto de moldes. Parece sintomático da forma como é encarada a concepção e o projecto.

4. *“No final dos anos 50, com o aparecimento do desenho e da possibilidade de o copiar em processo heliográfico, foram dados os primeiros passos para a assunção da importância das tarefas de projecto e planificação de trabalho.”*
5. *“A partir dos anos 60 e sobretudo nos anos 70 do século XX, o desenho de engenharia tornou-se não só um instrumento de organização de trabalho, mas uma forma de comunicação com o cliente e de garantia de cumprimento de especificações técnicas. Com o advento da era informática, a modelação digital começou a tomar forma sendo, já nos anos 90, plenamente assimilado o recurso à internet, como forma de partilha de informação com o cliente em fase de projecto, bem como a utilização de CAD/CAM. Com uma estratégia pioneira e integradora das melhores e mais recentes tecnologias, nos anos 90 há uma aproximação clara ao desenvolvimento de produto com o cliente.”*

É interessante notar a referência ao desenho e verificar que a noção de projecto é recente. Ainda há pouco tempo ouvia-se falar em desenhador de moldes ou de ferramentas e não de projectistas, em salas de desenho em vez de salas de projecto. Tem havido uma cultura de desenho de ferramentas fundamentada em conhecimento empírico, em vez de uma cultura de projecto fundamentada na cooperação dos conhecimentos científico e empírico.

6. *“A dimensão vertical do Engineering & Tooling num primeiro momento assiste-se à instalação de empresas fornecedoras (aços, ferramentas, tratamentos térmicos e de superfícies, serviços diversos), surgindo posteriormente as empresas especializadas em determinadas fases de fabrico (fresagem, polimento, etc.). Já num período mais recente é clara a aposta nas áreas de design e engenharia de produto, como resposta a uma nova estratégia de desenvolvimento de produto de forma partilhada com o cliente.”* (ver Figura 3).

Como se pode ver na Figura 3, a indústria de moldes e de ferramentas especiais congrega um número elevado de sectores industriais e de serviços.

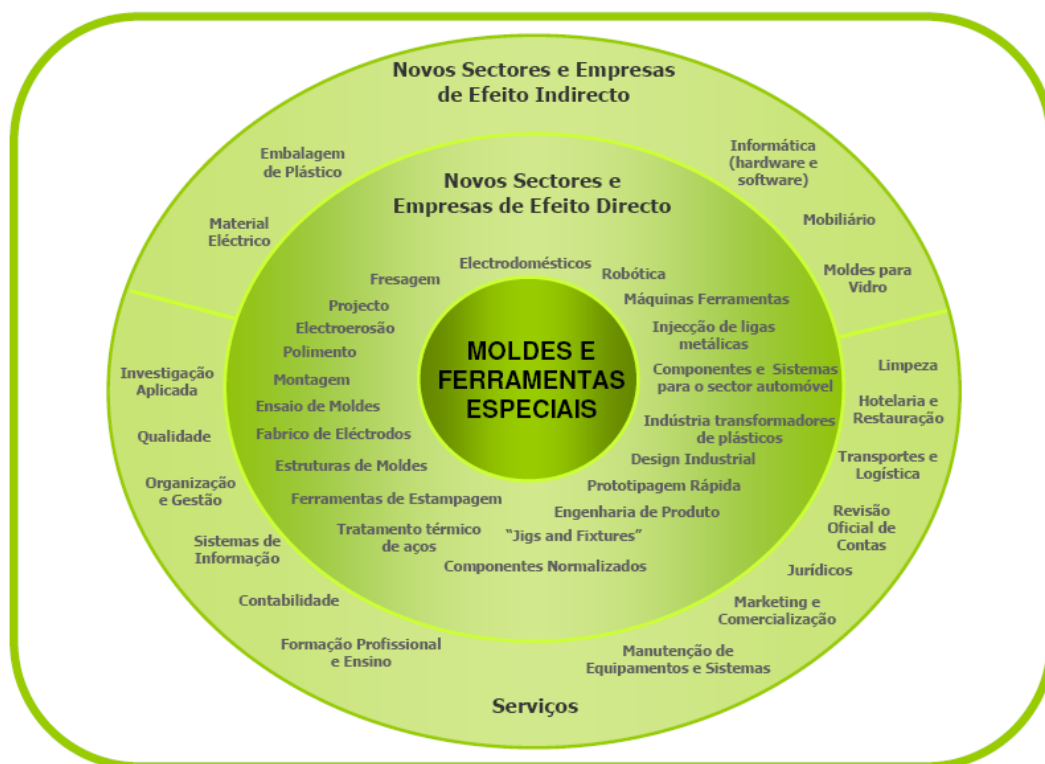


Figura 3 – Sectores de efeito directo e serviços associados ao sector dos moldes e ferramentas especiais. [4]

7. *“O sector dos moldes tem assistido a diferentes vagas de clientes que se têm sucedido como resultado de dinâmicas associadas ao fenómeno da globalização e, mais especificamente, à deslocalização da produção para os países Asiáticos, que “arrastaram” a produção de moldes também para esses países.”* (ver Tabela 3)

A Tabela 3 mostra os salários praticados em alguns países membros da ISTMA (valores de 2002, em princípio, e dos países que disponibilizaram dados para o relatório de 2002-2003 da ISTMA), na qual é possível ver que em termos de salários Portugal teve a concorrência dos países das designadas economias emergentes.

Tabela 3 – Valores horários salariais do trabalho de projecto e de operador / programador de máquinas-ferramentas (fonte: istma_report_2002_2003 [7])

	Projectista			Operador/programador de máquina-ferramenta		
	€/h			€/h		
Membros ISTMA	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd
Canadá	11.20	27.15	17.48	8.33	18.20	13.95
Taiwan	7.59	13.58				
Estónia	2.56	6.71	4.86	3.83	6.71	4.86
Finlândia	14.60	17.60	15.10	14.60	17.60	15.10
Alemanha	15.47	24.00	19.97			
Grã Bretanha	13.38	20.63	16.03	12.40	17.00	15.19
Itália	9.54	16.10	12.54	8.52	10.41	9.51
Coreia do Sul	4.05	5.90	4.98	4.33	6.02	5.18
Portugal	5.00	14.00	9.60	5.00	15.00	10.70
Eslovénia	15.88	22.36		13.37	18.43	
Espanha	13.44	20.19	16.81	12.34	16.97	14.61
Suiça	23.82	33.15	27.94			
USA	17.35	24.19	19.82	16.35	20.45	18.42

Todavia, os dados da Tabela 3 permitem, e merecem, outras leituras:

- a) Como se pode na Figura 4, em Portugal o valor dos salários dos operadores de máquinas/programadores é superior ao dos projectistas, contrariamente à média dos países da ISTMA.

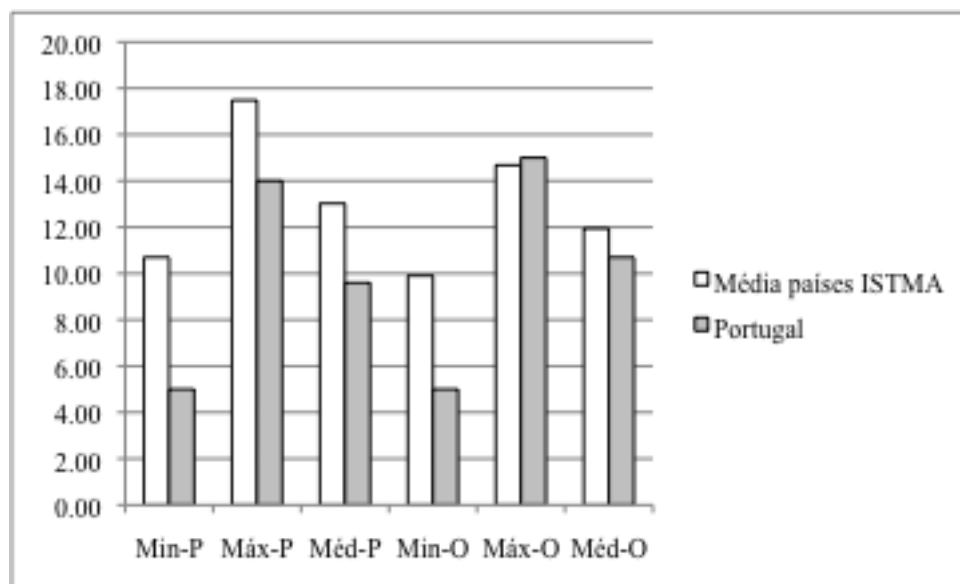


Figura 4 - Comparação de salários entre valores da média dos países da ISTMA e os valores de Portugal. [7]

- b) Na Tabela 4 e da Tabela 5 é possível verificar que os salários em Portugal são baixos, mas o mais relevante é o facto de ser o país onde a discrepância é maior entre o salário

máximo e mínimo. Poderá admitir-se que esta situação provém da fraca qualificação das pessoas que ingressam nestas profissões e que o conhecimento existente é essencialmente fruto da experiência, portanto, demorado, pouco aberto e carente de formação básica.

Tabela 4 – Ordenação de valores horários relativos a projectistas

	€/h		€/h		€/h		Máx/Min
	Min		Máx		Méd		
Estónia	2.56	Coreia do Sul	5.90	Estónia	4.86	Finlândia	1.21
Coreia do Sul	4.05	Estónia	6.71	Coreia do Sul	4.98	Suiça	1.39
Portugal	5.00	Taiwan	13.58	Portugal	9.60	USA	1.39
Taiwan	7.59	Portugal	14.00	Itália	12.54	Eslovénia	1.41
Itália	9.54	Itália	16.10	Finlândia	15.10	Coreia do Sul	1.46
Canadá	11.20	Finlândia	17.60	Grã Bretanha	16.03	Espanha	1.50
Grã Bretanha	13.38	Espanha	20.19	Espanha	16.81	Grã Bretanha	1.54
Espanha	13.44	Grã Bretanha	20.63	Canadá	17.48	Alemanha	1.55
Finlândia	14.60	Eslovénia	22.36	USA	19.82	Itália	1.69
Alemanha	15.47	Alemanha	24.00	Alemanha	19.97	Taiwan	1.79
Eslovénia	15.88	USA	24.19	Suiça	27.94	Canadá	2.42
USA	17.35	Canadá	27.15	Taiwan		Estónia	2.62
Suiça	23.82	Suiça	33.15	Eslovénia		Portugal	2.80

Tabela 5 – Ordenação de valores horários relativos a operadores e programadores

	€/h		€/h		€/h		Máx/Mi n
	Min		Máx		Méd		
Estónia	3.83	Coreia do Sul	6.02	Estónia	4.86	Finlândia	1.21
Coreia do Sul	4.33	Estónia	6.71	Coreia do Sul	5.18	Itália	1.22
Portugal	5.00	Itália	10.41	Itália	9.51	USA	1.25
Canadá	8.33	Portugal	15.00	Portugal	10.70	Grã Bretanha	1.37
Itália	8.52	Espanha	16.97	Canadá	13.95	Espanha	1.38
Espanha	12.34	Grã Bretanha	17.00	Espanha	14.61	Eslovénia	1.38
Grã Bretanha	12.40	Finlândia	17.60	Finlândia	15.10	Coreia do Sul	1.39
Eslovénia	13.37	Canadá	18.20	Grã Bretanha	15.19	Estónia	1.75
Finlândia	14.60	Eslovénia	18.43	USA	18.42	Canadá	2.18
USA	16.35	USA	20.45	Taiwan		Portugal	3.00
Taiwan		Taiwan		Alemanha		Taiwan	
Alemanha		Alemanha		Eslovénia		Alemanha	
Suiça		Suiça		Suiça		Suiça	

8. “De forma geral, assiste-se a um encurtar dos ciclos de vida dos produtos e a um aumento da competição nos mercados globais, fruto da globalização e da crescente oferta de soluções. Estes efeitos propagam-se naturalmente, gerando pressões nas empresas, aos mais diversos níveis. No sector automóvel, em particular, estas pressões junto dos fornecedores de ferramentas especiais agravam-se, dado o seu

poder de negociação e a forte pressão que os fabricantes de automóveis sofrem ao nível de preços.”

Esta situação faz com que o projecto seja determinante na competitividade desta actividade, uma vez que pode promover alterações no fabrico e na montagem com efeitos na redução de tempo e de custo.

9. *“Analisando a evolução da percentagem de volume de negócios em actividades de I&D e Inovação entre 2004 e 2006 (ver Figura 5), verifica-se um crescimento médio anual de cerca de 35,2%. Este aumento é significativo e representativo do esforço do sector na sua modernização e das exigências tecnológicas associadas à concepção e produção de moldes. É importante ainda realçar que o investimento em I&D e Inovação como percentagem do volume de negócios pelas empresas do sector atingiu em 2006 o valor de 3,7%, contrastando com a média nacional de 1,4%.”*

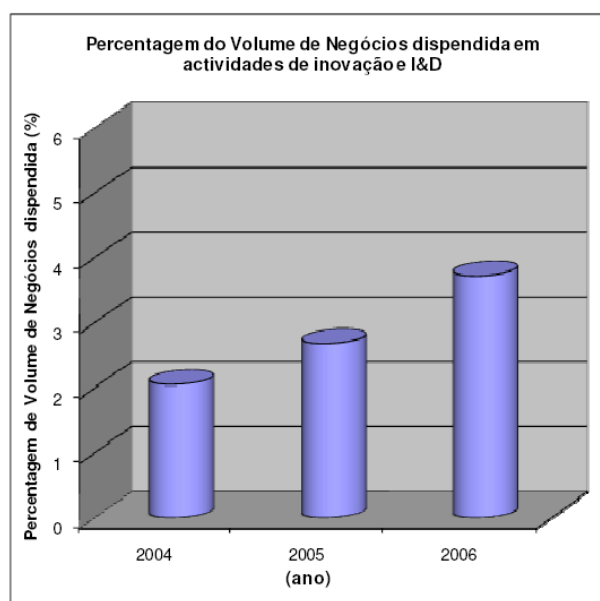


Figura 5 – Evolução da percentagem do volume de negócios dispendida em actividades de inovação e I&D entre 2004 e 2006. Fonte: Questionário às empresas no âmbito do diagnóstico do sector, 2007. [7]

10. *“A Figura 6 apresenta o grau de importância dado pelas empresas aos factores que impedem o desenvolvimento da inovação assim como o grau de importância de algumas actividades de inovação nas empresas. O desenvolvimento da inovação mostra-se condicionado sobretudo por factores de escassez de recursos financeiros, custos elevados e ainda por uma percepção do risco económico implícito excessivo. Além disso, de/ acordo com os empresários, questões como a falta de pessoal*

qualificado e a escassez de recursos humanos são considerados como factores que impedem este tipo de actividades”.

11. *“No que respeita ao grau de importância das actividades de inovação nas empresas, verifica-se que as actividades de marketing e de formação interna e externa têm uma relevância superior seguidas das actividades de aquisição de conhecimento externo (patentes e licenças). A aquisição de maquinaria avançada, hardware, software ou outros equipamentos é vista como um factor menos relevante neste contexto”.*

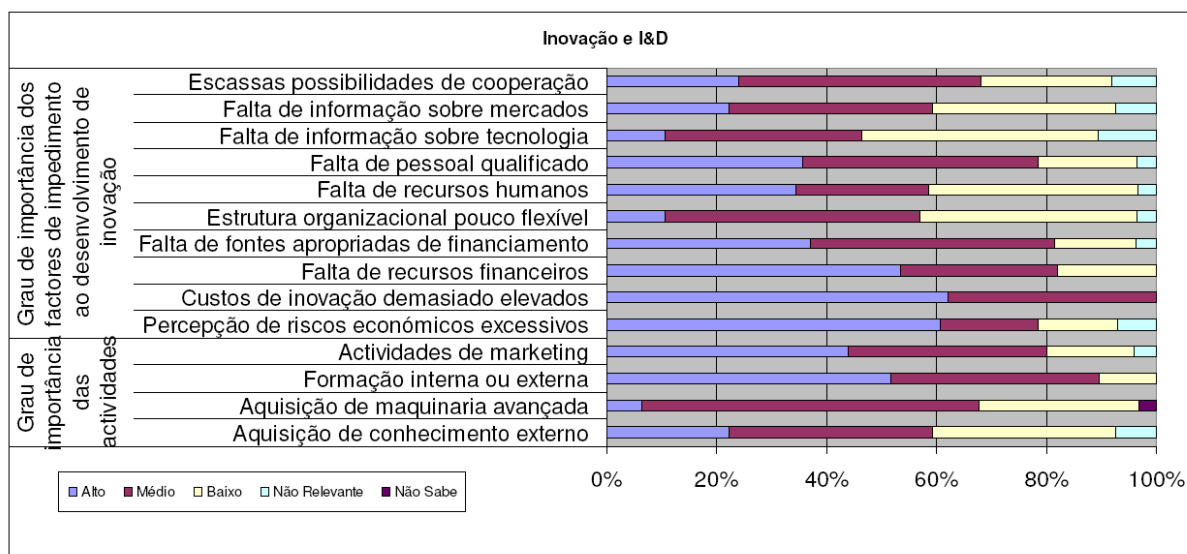


Figura 6 – Grau de importância do desenvolvimento de actividades de Inovação e I&D. [7]

É de realçar que não é feita qualquer referência à actividade de projecto.

Esta análise sumária permite perceber que a actividade de projecto neste sector não tem merecido a atenção que merecia, isto apesar do esforço enorme em termos de investimento em meios computacionais CAD (desenho assistido por computador) /CAM (produção assistida por computador) e mais recentemente em CAE (*Computer Aided Engineering*), assim como em inovação (apesar de não se perceber bem em quê).

A presente dissertação pretende contribuir, de forma simples, para demonstrar que através da actividade de projecto é possível dar um contributo muito relevante para a competitividade desta indústria.

1.5 Apresentação da empresa do caso de estudo APAL

O trabalho de dissertação foi realizado em cooperação com uma empresa de projecto e fabrico de ferramentas de estampagem, a APAL, Cunhos e Cortantes, Lda.

A APAL – Cunhos e Cortantes Lda. é uma empresa do sector metalomecânico de precisão fundada em 1989, que concebe, projecta e fabrica ferramentas para corte e estampagem de peças metálicas, destinadas às indústrias automóvel, eléctrica/electrónica e utilidades domésticas, na sua maioria para o mercado externo. A empresa tem uma área fabril de cerca de 2900 m², tem cerca de 47 funcionários qualificados e um parque de máquinas ferramentas moderno. Dispõe de prensas mecânicas de 250 a 600 toneladas para ensaios e produção de pequenas séries (ver Figura 7 e Figura 8).

A empresa dedica-se ao projecto e fabrico de ferramentas de estampagem, em particular para a indústria automóvel, sendo uma das mais representativas do sector em Portugal.



Figura 7 - Imagem da área fabril - maquinação



Figura 8 - Imagem da área fabril - montagem

Dada a diversidade de indústrias para a qual a empresa trabalha é natural que o tipo de peças também seja variado, produzindo tanto peças simples como peças complexas (ver Figura 9 e Figura 10).

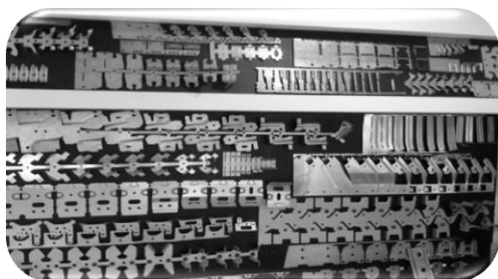


Figura 9 - Peças produzidas pela APAL

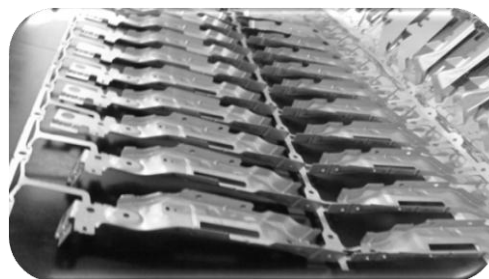


Figura 10 - Exemplo de uma peça complexa produzida pela APAL

O contacto com o cliente inicia-se a partir do momento que este se dirige à empresa com um pedido de orçamento. As etapas desde o processo de encomenda até à conclusão do projecto estão descritas na Figura 11.

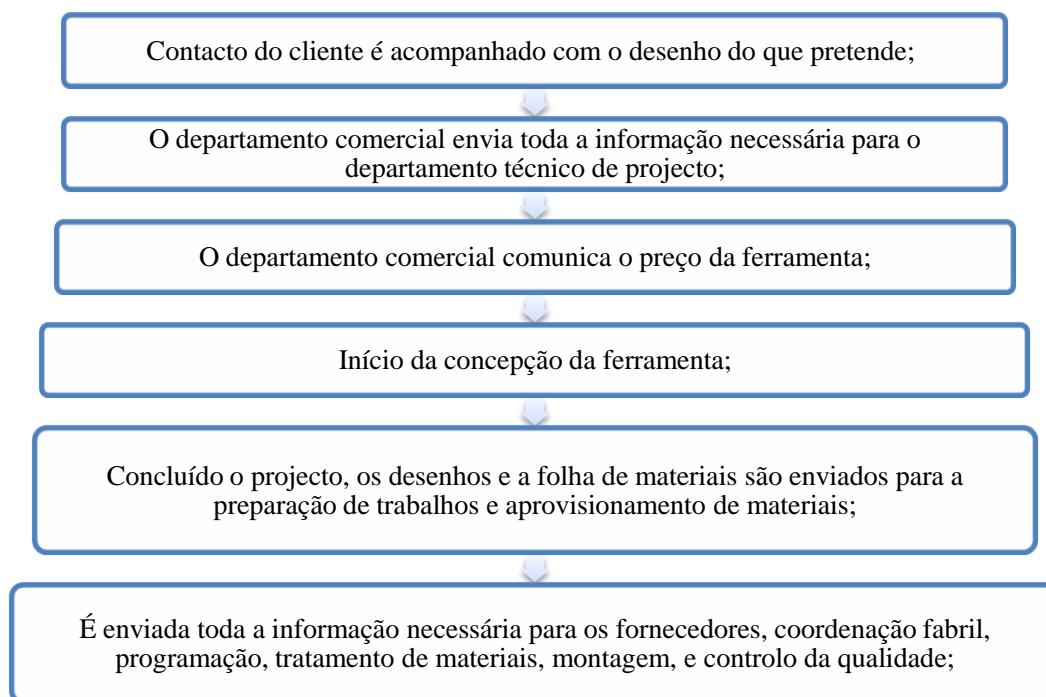


Figura 11 - Etapas do processo de encomenda de uma ferramenta e lançamento do trabalho na empresa.

Estando na posse do desenho da peça a estampar, inicia-se a identificação das características da peça e especificação das características-chave da ferramenta. Esta fase inicial é determinante ou mesmo crítica no projecto da ferramenta. É neste ponto que se enquadra a análise dimensional e de tolerâncias, que diz respeito a esta dissertação. Esta análise surge em conjunto com a abordagem de tecnologia para os componentes da ferramenta e observação das capacidades de fabrico. Pode-se desde já afirmar que o projecto de dissertação incide principalmente na identificação das características da peça e especificação das características-chave da ferramenta, seguido do projecto de toleranciamento (síntese e análise). Todo o processo de produção da ferramenta está descrito na Figura 12.

Este trabalho de dissertação insere-se num outro mais vasto, no qual se pretende melhorar o projecto de ferramentas de estampagem, integrando o projecto das tolerâncias, com a estimativa de custo da ferramenta [8] e com a simulação de soluções conceptuais [9] (ver Figura 12).

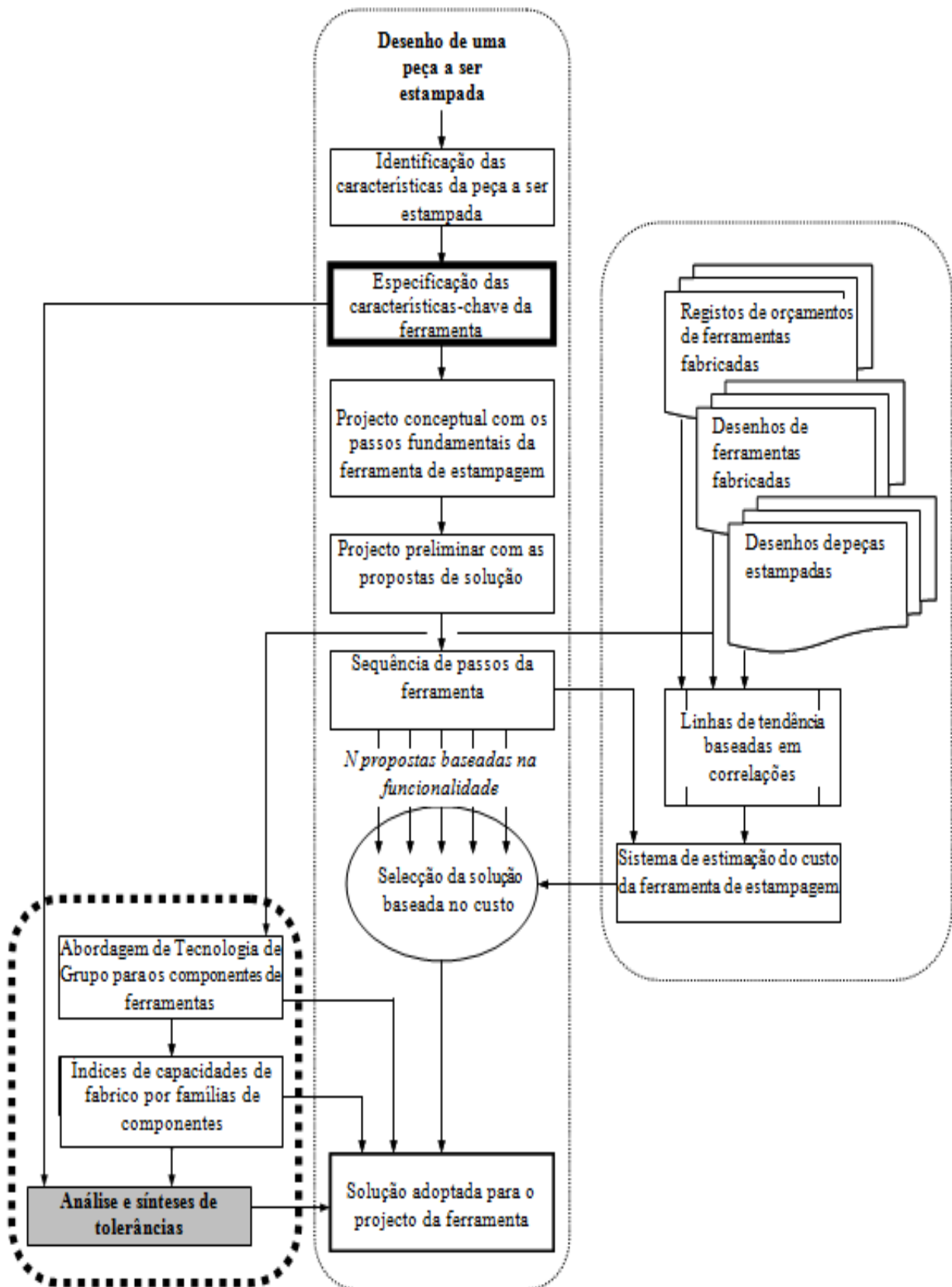


Figura 12: Identificação do trabalho da dissertação num modelo de integração do projecto conceptual de uma ferramenta.

A primeira etapa do desenvolvimento de uma ferramenta de estampagem é o contacto inicial com o cliente que se faz acompanhar do desenho com as especificações da peça a ser produzida. As Figura 13, Figura 14 e Figura 15 mostram a banda para a estampagem progressiva da peça e a ferramenta montada.

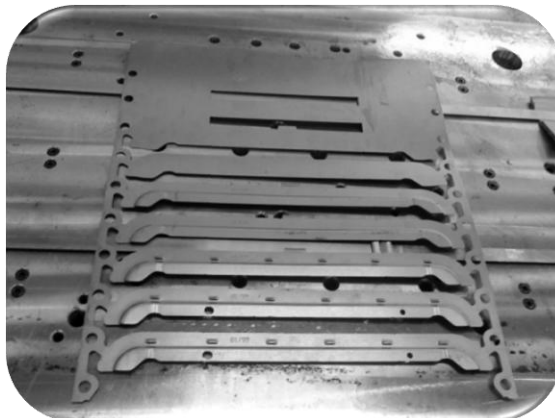


Figura 13: Banda com sequência de operações



Figura 14: Banda com sequência de operações posicionada na respectiva ferramenta

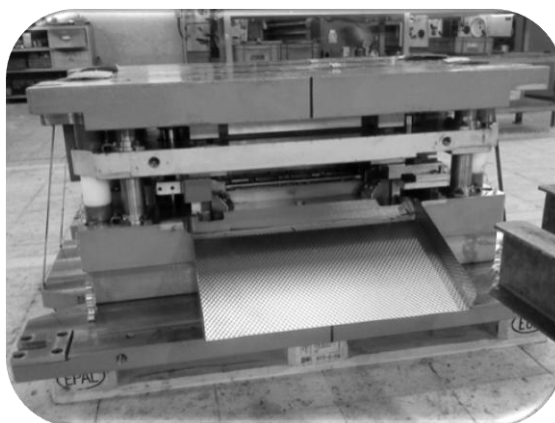


Figura 15: Ferramenta estudada

2 *Enquadramento geral das tolerâncias*

2.1 Conceitos gerais

A impossibilidade de fabricar componentes com dimensões rigorosamente iguais às nominais constitui um dos problemas mais importantes da produção. No entanto, os sistemas mecânicos necessitam de ajustamentos criteriosamente definidos para que possam cumprir as especificações funcionais. Por isso as tolerâncias são variáveis de projecto de importância relevante. A tendência recente, verificada na indústria automóvel, de um aperto acentuado no valor das tolerâncias na peça estampada está a constituir um enorme problema para os fabricantes das ferramentas, desde logo na orçamentação [10].

O melhor desempenho obriga à escolha de campos de tolerâncias mais apertados, o que consequentemente conduz ao aumento do custo de produção. Na Figura 16 observa-se o aumento no custo de produção com a redução ou aperto da tolerância.

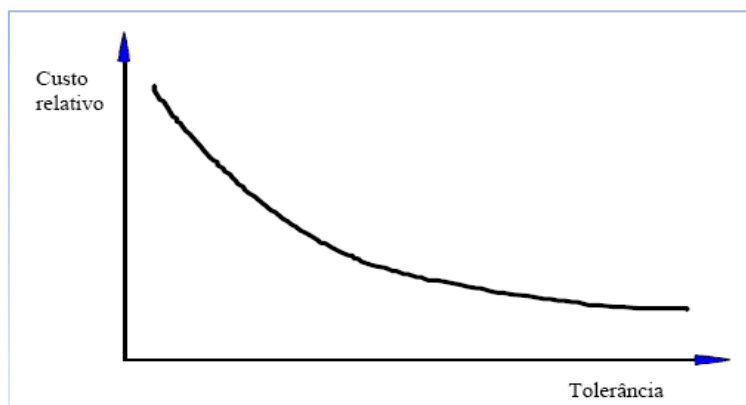


Figura 16: Influência das tolerâncias no custo de produção [10].

Na Figura 17 relaciona-se o tempo com certas características importantes num projecto. Com a evolução do tempo observa-se um aumento significativo do custo de qualquer alteração no projecto inicial, ou seja, a possibilidade de proceder a alterações reduz-se. Outra relação importante é o crescimento da informação sobre o produto com a evolução do tempo.

O dimensionamento geométrico e o respectivo toleranciamento (GD&T - Geometric Dimensioning and Tolerancing) é um meio de especificar o projecto de engenharia e as exigências do desenho em relação à sua real função e inter-relações entre as partes duma peça. Além disso é uma técnica cuja aplicação correcta assegura uma produção mais económica e eficiente. Pode-se afirmar que é uma linguagem, com utilização de símbolos, que pode ser usada por todas as áreas de engenharia de modo a garantir a correcta funcionalidade do produto e quando propriamente aplicada, leva a grandes vantagens económicas [11] (ver Tabela 6). Para se atingir este objectivo é necessário que o desenho seja interpretado de igual forma tanto pela equipa de projecto como de

produção. A melhor forma de perceber a utilidade do toleranciamento é perceber que é empregue quando as referências são desejáveis para assegurar a consistência entre o projecto, a operação de fabrico e a verificação final.

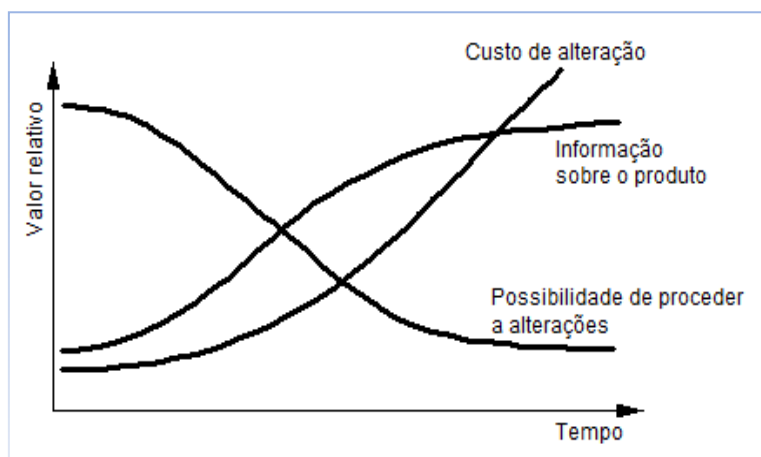


Figura 17 - Informação sobre o produto vs Tempo; Custo de alteração vs Tempo; Possibilidade de proceder a alterações vs. Tempo. [12]

Tabela 6: Símbolos de tolerâncias geométricas [13].

Tolerâncias			Símbolos
Tolerâncias isoladas	Tolerâncias de forma	Rectidão	
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	
		Perfil de uma linha	
		Perfil de uma superfície	
Tolerâncias relacionadas	Tolerâncias de orientação	Paralelismo	
		Perpendicularidade	
		Inclinação	
	Tolerâncias de localização	Posição	
		Concentricidade e coaxialidade	
		Simetria	
	Tolerâncias de movimento	Movimento circular	
		Movimento total	

As tolerâncias contêm dois tipos de informação, a funcional (importante para o correcto funcionamento do produto) e a de fabrico (importante para o fabrico do produto). Para se obter a primeira é imprescindível a informação da tolerância de fabrico. Este facto torna o toleranciamento essencial no desenvolvimento do produto.

A implementação das tolerâncias geométricas não implica necessariamente o uso particular de qualquer método de produção, medição ou inspecção. Porém, a sua correcta interpretação faculta uma ajuda preciosa para o estabelecimento dos processos de produção, medição e inspecção nas várias fases de produção.

2.1.1 Tolerâncias no projecto de ferramentas

Tolerâncias são especificações que apenas devem ser consideradas no caso de serem essenciais ou críticas para o funcionamento da ferramenta. A utilização desnecessária de tolerâncias apertadas aumenta o custo da ferramenta e reduz o seu tempo de vida [14]. Na bibliografia estudada apenas se faz referência ao toleranciamento entre a chapa a ser trabalhada e os punções, entre as matrizes e os punções, tolerâncias dos furos e das operações de dobragem (ver Tabela 7, Tabela 8 e Figura 18).

Tabela 7 – Valor da tolerância em função da espessura da chapa e perímetro de corte (Adaptado de [14])

Espessura de chapa (mm)	Dimensão do punção		
	Até 76mm	De 76 a 200mm	De 200 a 610mm
0.64	0.08	0.13	0.20
0.76	0.08	0.15	0.25
1.52	0.10	0.20	0.30
2.13	0.13	0.23	0.36
3.18	0.15	0.25	0.41
4.75	0.25	0.41	0.64
6.35	0.38	0.51	0.89

Tabela 8 – Valor da tolerância em função da espessura e perímetro de corte (Adaptado de [15]).

Diâmetro nominal punção – furo (mm)	Espessura da chapa (mm)				
	0.63 – 1.07	1.27 – 1.83	1.98 – 2.36	2.59 – 3.96	4.75 – 6.35
	Tolerância máxima entre punção e furo (mm)				
3.17 – 3.58	0.05	↑	↑	↑	
3.66 – 5.79	0.08	0.015	0.20	0.28	
		0.03	0.05	0.08	
5.94 – 10.49	0.10	↓	↓		0.53
					0.08
10.72 – 17.48	0.15	↓	↓		
17.86 – 24.99	0.23	0.23			
até 25.40	0.25	0.25	0.25	↓	↓

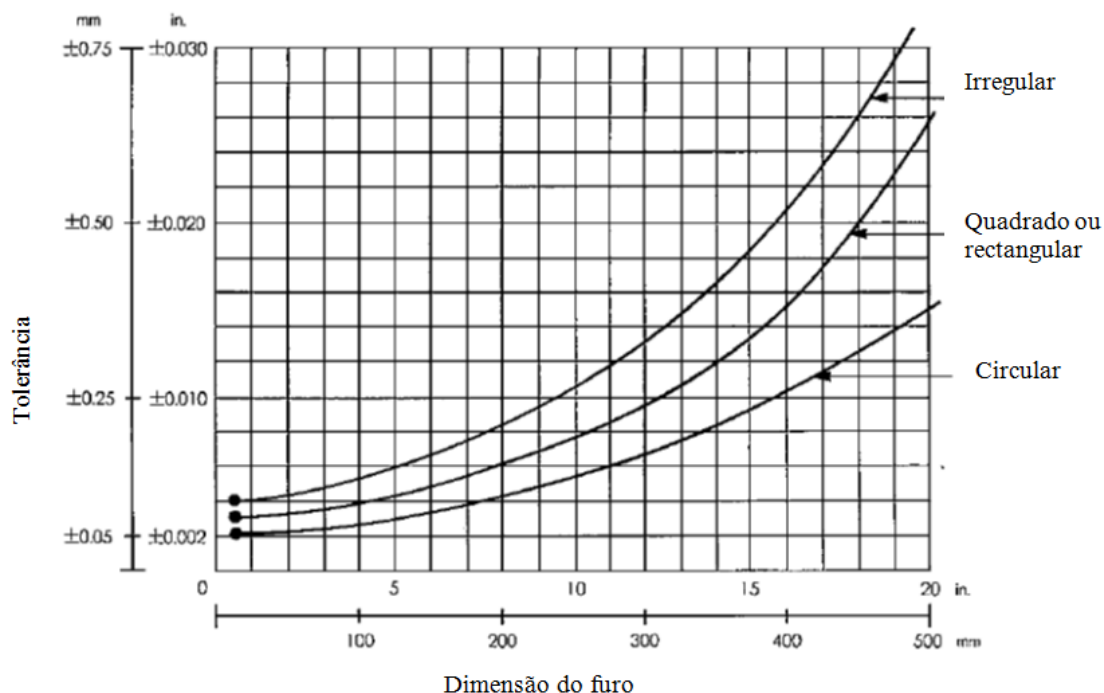


Figura 18: Valor da tolerância em função do perfil e perímetro de corte. (Adaptado de [15])

Punção e matriz podem cortar ou furar, isto é, podem produzir peças ou fazer furos. Ao descer, o punção comprime a chapa contra a matriz forçando-a para dentro. Aparecem deformações elásticas seguidas de deformações plásticas em ambos os lados da chapa e logo após trincas de ruptura que ao se unirem separam a peça da chapa (ver Figura 19). Para se obter um corte limpo e sem rebarbas é necessário que as trincas, que se iniciam nos fios de corte, se encontrem. Isto acontece se existir uma certa folga entre punção e matriz (ver Figura 20 e Figura 21) [16].

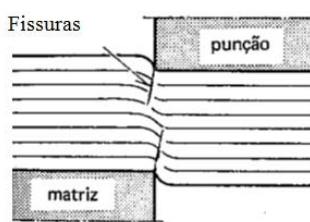


Figura 19 – Representação do corte [16]

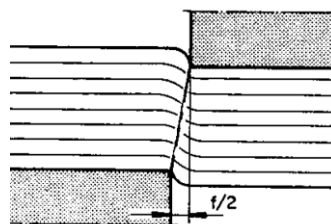


Figura 20 - Comportamento do material na operação de corte [16]

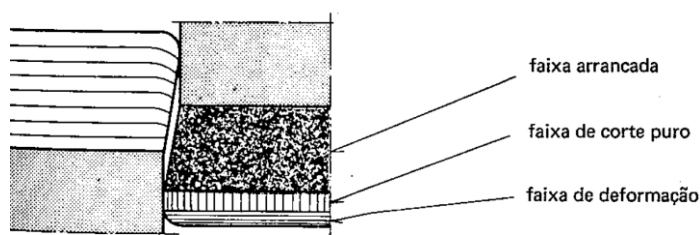


Figura 21 – Comportamento do material na operação de corte [16]

A folga (f) varia em função do material e da espessura (e). Para determinar a folga utiliza-se a Figura 22 onde se obtém o valor da folga pretendida, mas antes disto é necessário consultar a Tabela 10 para classificar o material da chapa. Pode ainda obter-se o valor da folga tendo como dados a espessura da chapa e a força de corte (ver Tabela 9). As dimensões exactas do punção e da matriz são determinadas considerando a tolerância do produto (peça), folga de corte e tolerância de acabamento do próprio punção e da própria matriz.

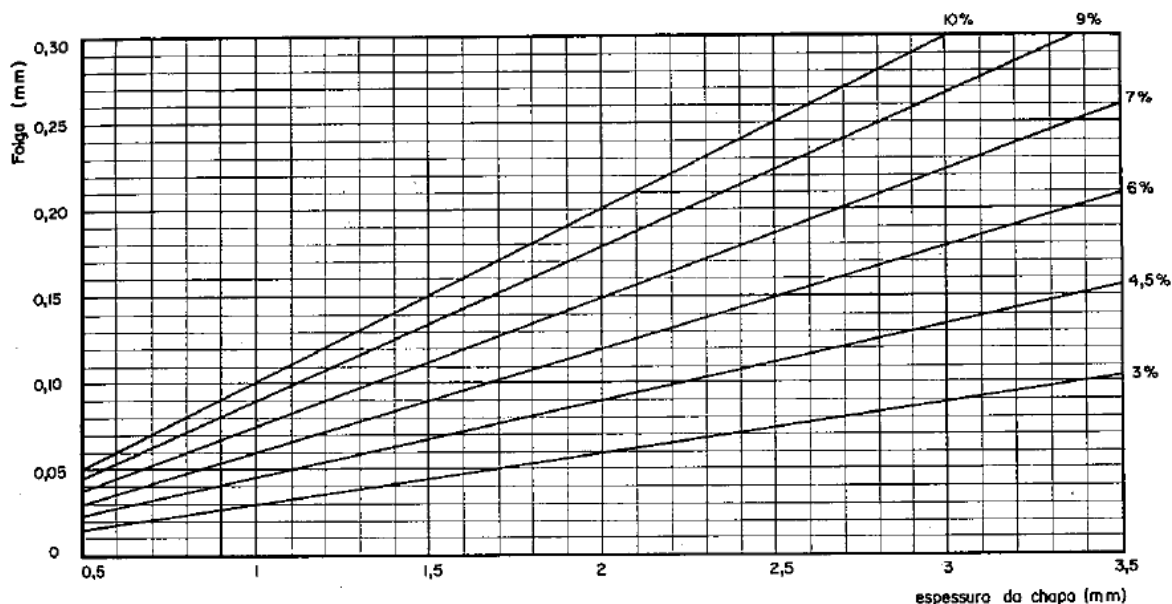


Figura 22: Folga em função da espessura [16].

Tabela 9: Folga em função da força de corte [17].

τ_c (Kg/cm ²)	Folga (% e)
500-1500	4.5%
1500-3000	6.0%
>3000	7.5%

Tabela 10 - Valores recomendados para a folga punção – matriz em função do material e da tensão de corte. [16].

Material	τ_c (Kg/mm ²)	Material	τ_c (Kg/mm ²)
Grupo 0 $f = 3\% e$		Grupo especial $f = (1 \div 1,75) \% e$	
Alumínio duro	13 ÷ 16	Baquelite	2,5 ÷ 3
Zinco macio	12	Mica 0,5 mm	8
Papel baquelitizado	10 ÷ 13	Mica 0,2 mm	5
Tecido resinado (celeron)	9 ÷ 12	Borracha.....	0,6 ÷ 6
Baquelite com intertela	9	Papel	
		1 fl. de 0,25 mm.....	16
		5 fl. de 0,25 mm.....	4,5
		10 fl. de 0,25 mm.....	2,3
		20 fl. de 0,25 mm.....	1,4
		Papelão.....	2,2 ÷ 3,5
		Papelão prensado.....	7
		Couro.....	0,6 ÷ 1,5
		Madeiras de lei.....	1 ÷ 3
		Madeira macia	1 ÷ 1,5
		Celulóide.....	4 ÷ 6
		Resina sintética	2,5 ÷ 3
		Chumbo	2 ÷ 3
		Estanho	3 ÷ 4
		Alumínio macio	4 ÷ 7
		Grupo especial $f = (2 \div 10) \% e$	
		Aço carbono 0,8%	72 ÷ 90
		Aço carbono 1%.....	80 ÷ 105
		Aço inoxidável 18—8.....	70 ÷ 80
		Nota:	
		A folga deve existir no punção para a peça e na matriz para o furo.	
Grupo 1 $f = 4,5\% e$			
Zinco duro	20		
Cobre macio	18 ÷ 22		
Latao macio	22 ÷ 30		
Grupo 2 $f = 6\% e$			
Duralumínio.....	38		
Cobre duro.....	25 ÷ 36		
Latão duro	35 ÷ 40		
Bronze laminado macio.....	32 ÷ 40		
Prata macia.....	28 ÷ 36		
Alpaca macia.....	28 ÷ 36		
Chapa para repuxo	30 ÷ 35		
Aço carbono 0,1%.....	25 ÷ 32		
Aço carbono 0,2%.....	32 ÷ 40		
Grupo 3 $f = 7,5\% e$			
Aço carbono 0,3%.....	36 ÷ 48		
Aço carbono 0,4%.....	45 ÷ 56		
Aço carbono 0,6%.....	56 ÷ 72		
Aço silício.....	45 ÷ 56		
Aço inoxidável	52 ÷ 56		
Alpaca dura.....	46 ÷ 50		
Bronze laminado duro.....	40 ÷ 60		
Prata dura.....	45 ÷ 50		

Constata-se que para além destas indicações relativamente a folgas, a bibliografia é omissa em relação à cotagem funcional e respectivo toleranciamento, no que às ferramentas de estampagem diz respeito.

Constata-se que no projecto das ferramentas, as tolerâncias não são tidas em consideração de uma forma sistemática e explícita. Consequentemente, não se fazem reflectir como características explícitas no projecto da ferramenta. É sobre a definição destas características para a ferramenta que a dissertação se irá debruçar

3 Estudo funcional de um projecto de ferramenta progressiva na perspectiva das tolerâncias

3.1 Análise da peça a estampar

Na Figura 23 apresenta-se a peça a ser estudada neste trabalho. A peça faz-se acompanhar por especificações determinadas pelo cliente que terão de ser meticulosamente cumpridas. A funcionalidade da peça produzida depende do cumprimento das especificações indicadas (ver Figura 24). Com o desenho entre mãos, cabe aos projectistas da ferramenta optar pelo processo mais eficaz que permita cumprir as especificações. Esta fase é fulcral para o trabalho a ser desenvolvido nesta dissertação é nesta fase que se pretende incidir. Partindo das especificações no desenho da peça determinadas pelo cliente, determinar que especificações terão de ter a ferramenta para o sucesso do projecto. Ou seja, transferir as especificações do desenho para o projecto da ferramenta, dando especial importância às tolerâncias. O material da peça é um aço com a referência EN 10268 HC 340 LA com a espessura de 0.8mm. Numa fase mais adiantada do trabalho serão descritas e analisadas com detalhe as especificações que caracterizam a peça

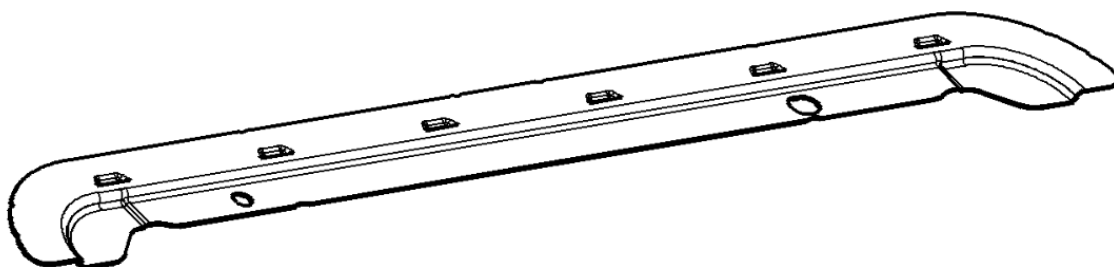
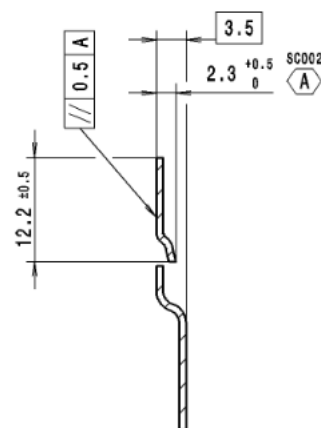


Figura 23: Imagem da peça a ser estudada



- 22 -

3.2 Análise da ferramenta à luz das tolerâncias da peça

Para a apresentação e análise dos componentes funcionais da ferramenta neste caso de estudo, é possível identificar os passos no projecto da ferramenta que poderão implicar a necessidade de tolerâncias funcionais e, por sua vez, ver da possibilidade de identificar uma estrutura hierárquica de tolerâncias que acompanhe a estrutura do projecto da ferramenta. Na maioria dos casos, o produto não é obtido de uma vez com um único golpe de estampagem, mas sim, progressivamente, após uma série de operações simples ou combinadas. No caso apresentado esta característica é tida em conta. Segue-se a identificação dos componentes funcionais da ferramenta e a análise da necessidade de tolerâncias funcionais.

3.2.1 Componentes das ferramentas de estampagem

Relativamente à ferramenta de estampagem do caso de estudo apresentam-se de seguida os componentes de maior importância. Não será efectuada a descrição detalhada de todos os componentes da ferramenta devido ao seu elevado número, o que condiciona em termos de espaço. Apesar deste facto é de referir que para a realização deste trabalho foi necessário uma análise de todos os componentes deste tipo de ferramentas com o objectivo de perceber o seu funcionamento e importância na produção das peças pretendidas. Nas figuras Figura 25, Figura 26 e Figura 27 observa-se a ferramenta montada.

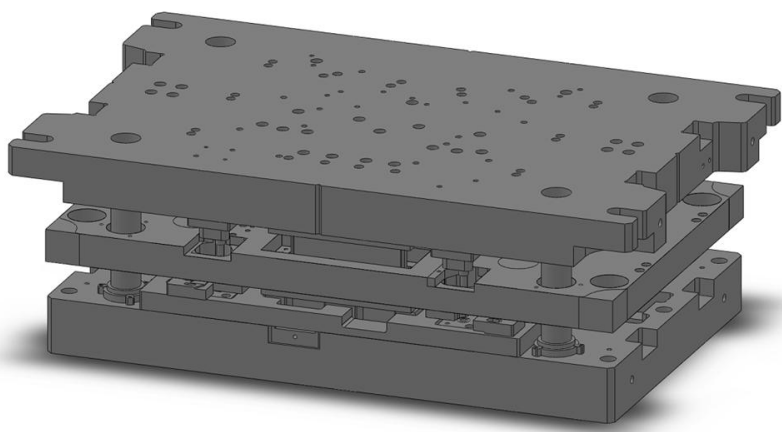


Figura 25 – Imagem em perspectiva da ferramenta do caso de estudo na posição fechada. (Desenhado em Solidworks).

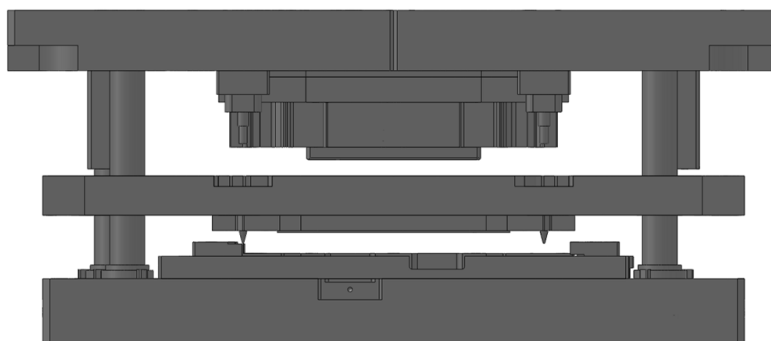


Figura 26 - Imagem da ferramenta do caso de estudo na posição elevada. (Desenhado em Solidworks).

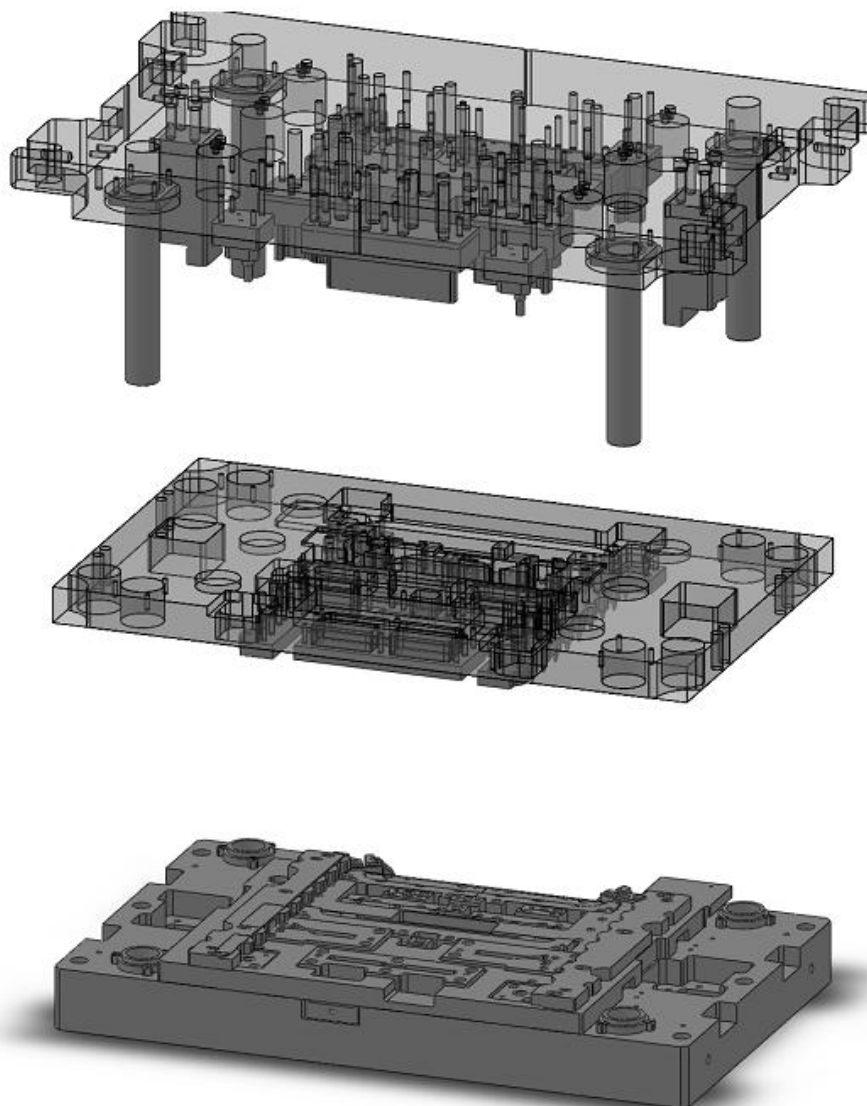


Figura 27 – Imagem da ferramenta explodida. (Desenhado em Solidworks).

3.2.1.1 Banda

Dos primeiros passos no projecto de uma ferramenta de estampagem é a disposição numa fita do material a estampar, com exactamente todas as operações a realizar até se obter a peça final. Esta fita de material é chamada de banda. O método aplicado no projecto da banda irá influenciar o sucesso ou falhanço financeiro de qualquer operação de estampagem. A banda ficará especificada antes de se iniciar o projecto da ferramenta, irá definir as formas e dimensões dos componentes e da ferramenta. Na Figura 28 é possível observar-se algumas bandas realizadas na empresa.

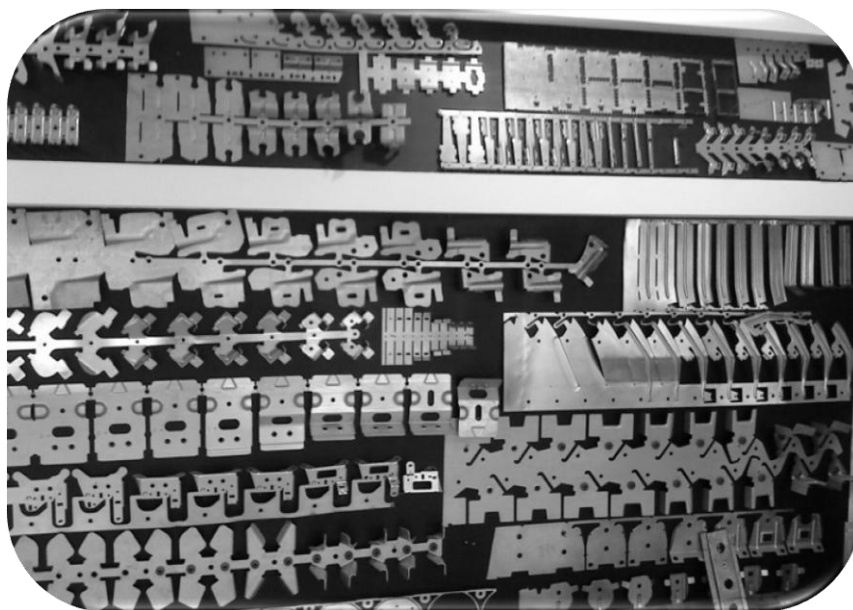


Figura 28: Exemplo de bandas realizadas na APAL.

Para se delinear a banda é necessário planejar a sequência de operações. Sendo assim é fundamental determinar as especificações críticas, analisando as especificações dimensionais que possuem tolerâncias apertadas ou limitação de posicionamento, ou de forma. Esta análise permite determinar as especificações para as operações. Torna-se ainda necessário seleccionar as áreas ou superfícies críticas, a partir do qual as medidas para todas as especificações podem ser tomadas de forma a determinar a geometria das peças. Por fim determina-se as operações de fabrico críticas, que acontecem quando é necessário estabelecer uma área ou superfície crítica a partir da qual as operações subsequentes podem ser definidas.

Na Figura 29 apresenta-se a sequência de operações efectuada na banda do caso de estudo. Na Figura 30 observa-se uma imagem real da mesma banda. As operações são descritas na Tabela 11.

No dimensionamento da banda o posicionamento dos furos é crítico. As tolerâncias serão um dado importante

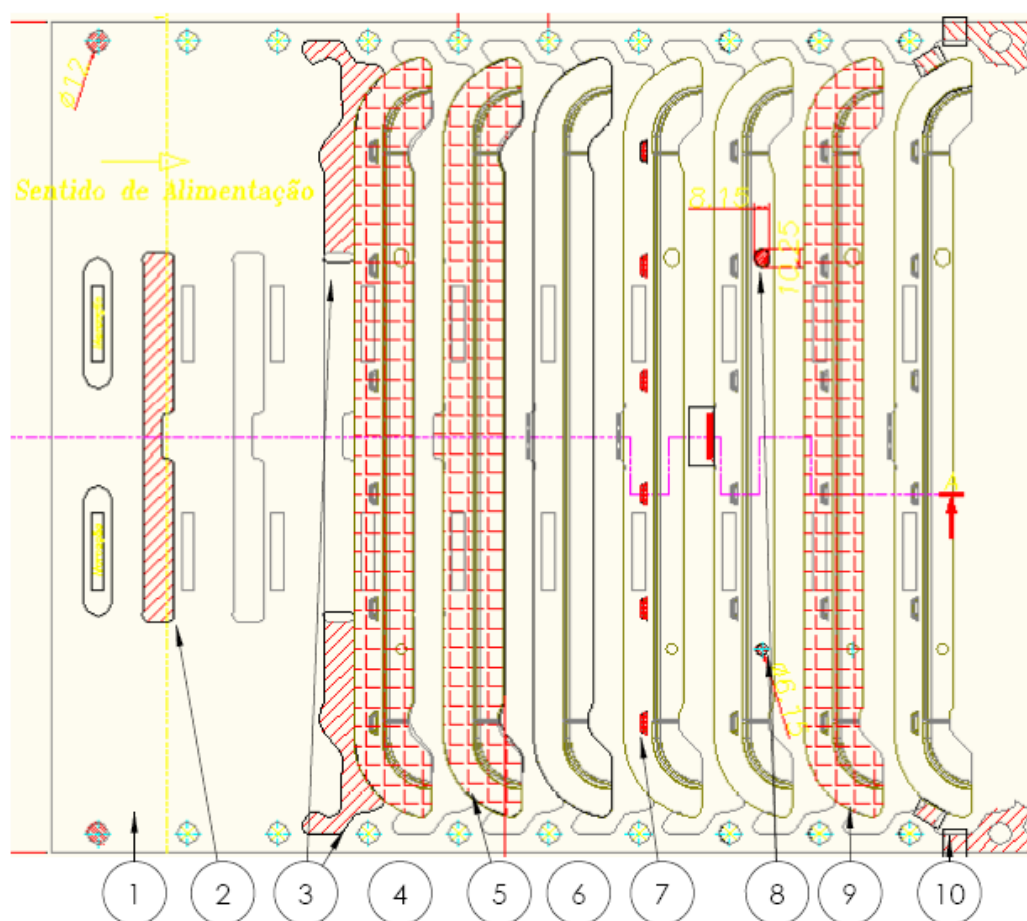


Figura 29: Sequência de operações da banda do caso de estudo.

Tabela 11: Descrição das operações efectuadas na banda.

Passo	Operações	Descrição
1	Furar, recortar, marcar	São realizados os dois furos de Ø12mm. Servem para guiar a peça.
2	Recortar	É recortado o perfil central.
3	Recortar	É recortado o perfil lateral.
4	Recortar	É recortado o perfil.
5	Embutir	A peça é embutida.
6	Livre	Livre.
7	Cortar	Semi-corte ou embute.
8	Furar	É realizado um furo de Ø 6mm e um rasgo de forma oval com 8.1x10mm
9	Bater rebarba	Bater rebarba, para garantir que não permanecem rebarbas na peça final.
10	Separar	Separação da peça da banda.

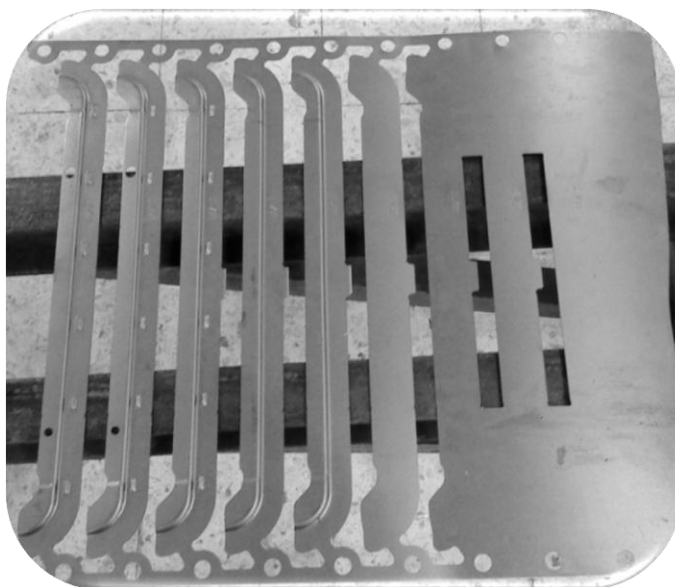
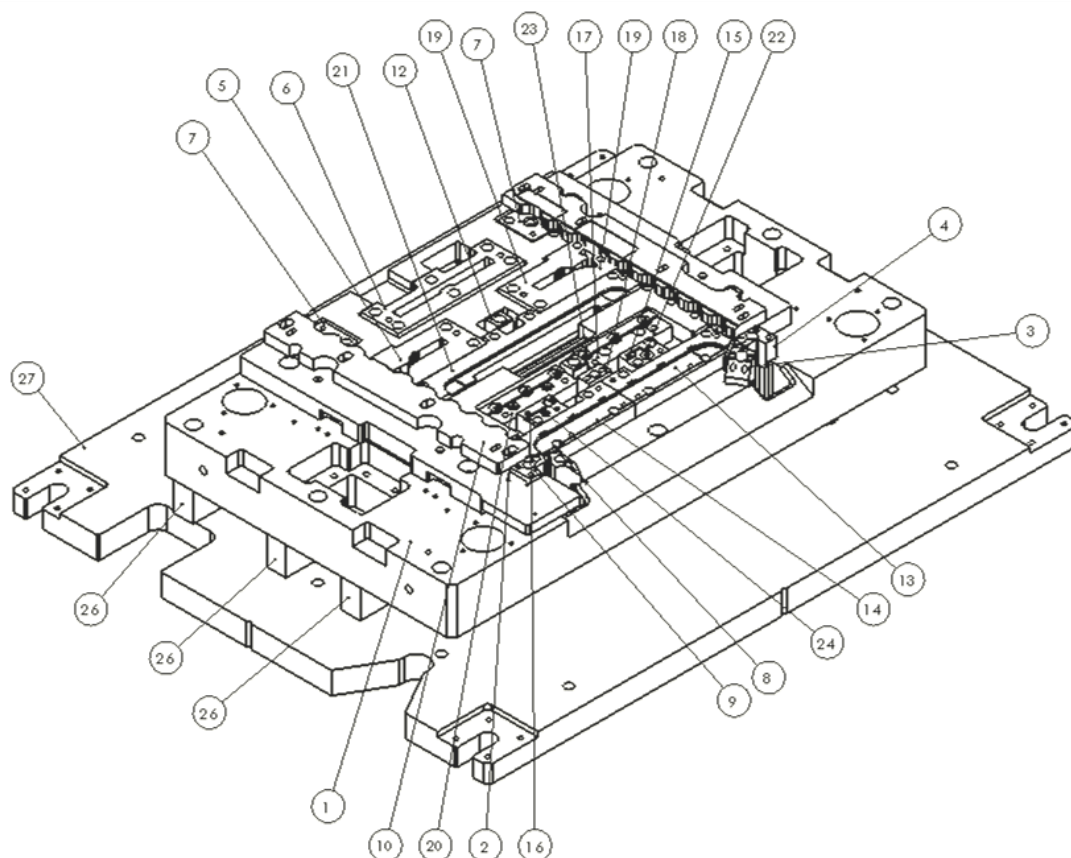


Figura 30: Imagem da banda.

3.2.1.2 Base e matrizes

Sobre a base encontram-se montadas as matrizes que permitem efectuar as operações na banda. A base tem como função servir de apoio às matrizes. O sucesso das operações de corte ou dobragem e consequentemente do cumprimento das especificações da peça a produzir, dependem do correcto posicionamento das matrizes. Ao correcto posicionamento das matrizes acrescenta-se ainda as folgas e tolerâncias entre as matrizes e os punções. Estes factores determinam onde as matrizes se devem encontrar para que se cumpram as especificações indicadas no desenho fornecido pelo cliente da peça a estampar. No nosso caso de estudo pretende-se criar um sistema utilizando as tolerâncias que permita o posicionamento exacto destas matrizes na base. O posicionamento das matrizes é um dos pontos mais críticos no projecto da ferramenta e um dos pontos em foco neste trabalho. Na Figura 31 é possível observar-se a base com todos os seus componentes montados, entre eles encontram-se as matrizes.



(1 – Base; 2 – Berço; 3 - Matriz de separação_1; 4 - Matriz de separação_2; 5 - Matriz_1; 6 - Matriz_3; 7 – Porta-Bucha, dois; 8 - Matriz de separação_1-; 9 - Matriz de separação_2-; 10 - Paralela1; 11 - Paralela6; 12 – Encosto, dois; 13 - Matriz bat rebarba; 14 - Matriz bat rebarba1; 15 – Porta-Bucha2; 16 – Porta-Bucha3; 17 – Porta-Bucha_5; 18 - Matriz de corte; 19 - Matriz_1-; 20 – Porta-Bucha_5-; 21 - Matriz Embutir; 22 - Bucha oval; 23 - Bucha corte, seis; 24 - Bucha gola2; 25 - Bucha gola, dois; 26 - Calço do suporte, três; 27 - Sub_base;)

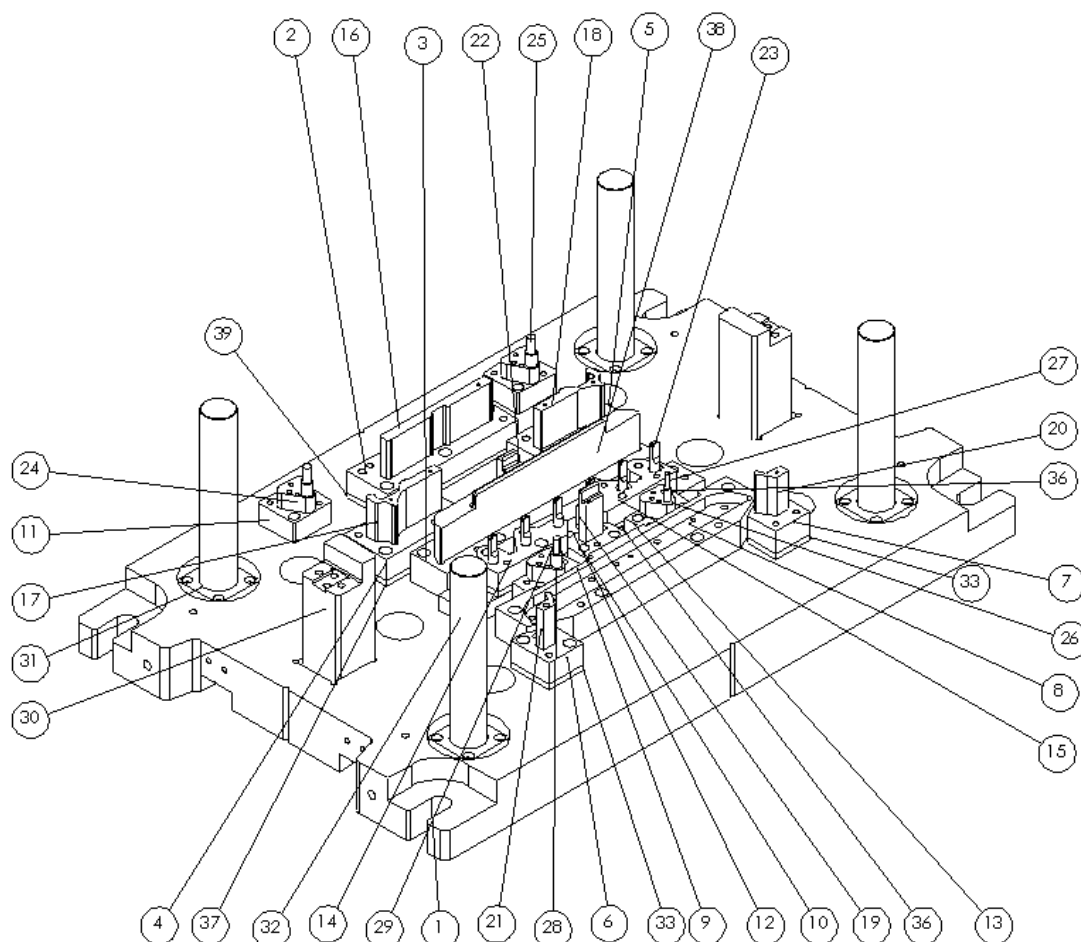
Figura 31: Base e matrizes do caso de estudo.

3.2.1.3 Punções e Porta-punções

Os punções são geralmente os componentes mais susceptíveis de uma ferramenta, devido ao constante choque a que estão sujeitos. Por isso determinados factores devem ser tidos em consideração. Devem ser resistentes o suficiente para que os choques repetidos a que estão sujeitos não causem a sua fractura, devem ser cuidadosamente guiados e suportados para garantir o alinhamento com os restantes componentes da ferramenta. Torna-se ainda importante a existência de punções de reserva para uma rápida substituição caso haja necessidade.

Os porta-punções suportam os punções e para isso devem ter as dimensões que garantam esse apoio eficaz. A montagem dos componentes do tecto onde se encontram os punções está representada na Figura 32 com a respectiva discriminação dos componentes desta montagem.

As folgas entre a matriz e o punção são críticas e terão de ser devidamente dimensionada e toleranciadas.



(1 - Tecto_1; 2 - Porta-Punções_10; 3 - Porta-Punções_7; 4 - Porta-Punções_9; 5 - Porta-Punções_9; 6 - Porta-Punções_11; 7 - Porta-Punções_21; 8 - Porta-Punções_13; 9 - Porta-Punções_14; 10 - Porta-Punções_12; 11 - Porta-Punções_25, dois; 12 - Calço; 13 - Porta-Punções_15; 14 - Porta-Punções_20; 15 - Porta-Punções_20; 16 - Punção Corte_1; 17 - Punção Corte_3; 18 - Punção Corte_3; 19 - Punção Corte_4; 20 - Punção Corte_6; 21 - Punção Corte_6; 22 - Punção patilha; 23 - Punção Semi-corte, seis; 24 - Porta-punções do furo 1, dois; 25 - Punção de corte do furo 1, dois; 26 - Porta-punções do furo B; 27 - Punção de corte do furo B; 28 - Porta-punções do furo oval; 29 - Punção de corte do furo oval; 30 - Coluna prismática, dois; 31 - Aperto coluna, quatro; 32 - Coluna, quatro; 33 - Almofada_21, dois; 34 - Almofada 13, dois; 35 - Almofada_16; 36 - Almofada_16; 37 - Almofada 9, dois; 38 - Punção embutir; 39 - Almofada_10; 40 - Almofada_12;)

Figura 32: Disposição dos componentes do tecto.

3.2.1.4 Colunas de guia

As colunas de guia são elementos de precisão montados na ferramenta com o objectivo de guiar toda a parte superior da ferramenta (porta-pisas e tecto) relativamente à base. Estão montadas na ferramenta com o auxílio de buchas que permitem a movimentação ascendente e descendente da parte superior da ferramenta. (Ver Figura 33).

Devem ter o comprimento suficiente para nunca deixem de estar em contacto com as buchas do tecto no movimento ascendente.

O correcto funcionamento da ferramenta, o posicionamento dos seus componentes e os cortes na posição exacta, dependem de um guiamento exacto. É dos pontos mais críticos na montagem da ferramenta.

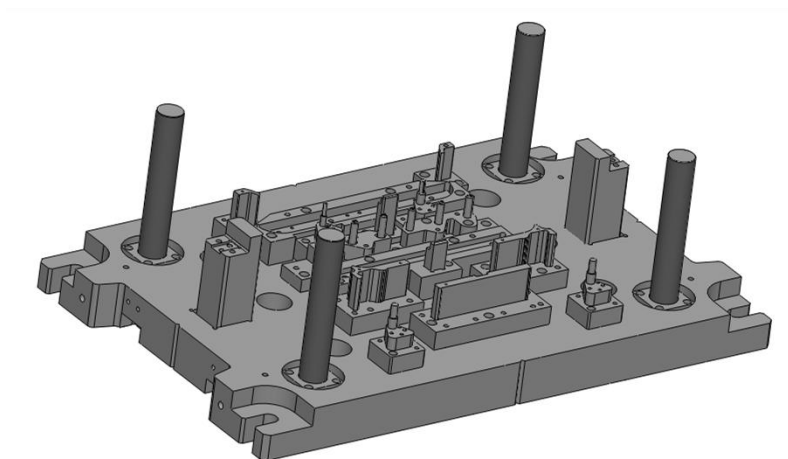


Figura 33: Imagem das colunas no caso de estudo.

O posicionamento das colunas será utilizado como referência para a montagem dos restantes componentes da ferramenta. Desde que todos os componentes da ferramenta estejam correctamente posicionados relativamente às colunas guia, é possível garantir o seu funcionamento para a produção das peças pretendidas. Para tal efeito criaram-se eixos de referência definidos pelas colunas, a partir do qual os elementos da ferramenta serão posicionados. É possível observar a representação destes eixos de referência nas Figura 34, Figura 35 e Figura 36. Após a definição dos eixos de referência torna-se necessário proceder à cotação funcional dos elementos a montar. A determinação das tolerâncias funcionais a utilizar será desenvolvida no seguimento deste trabalho.

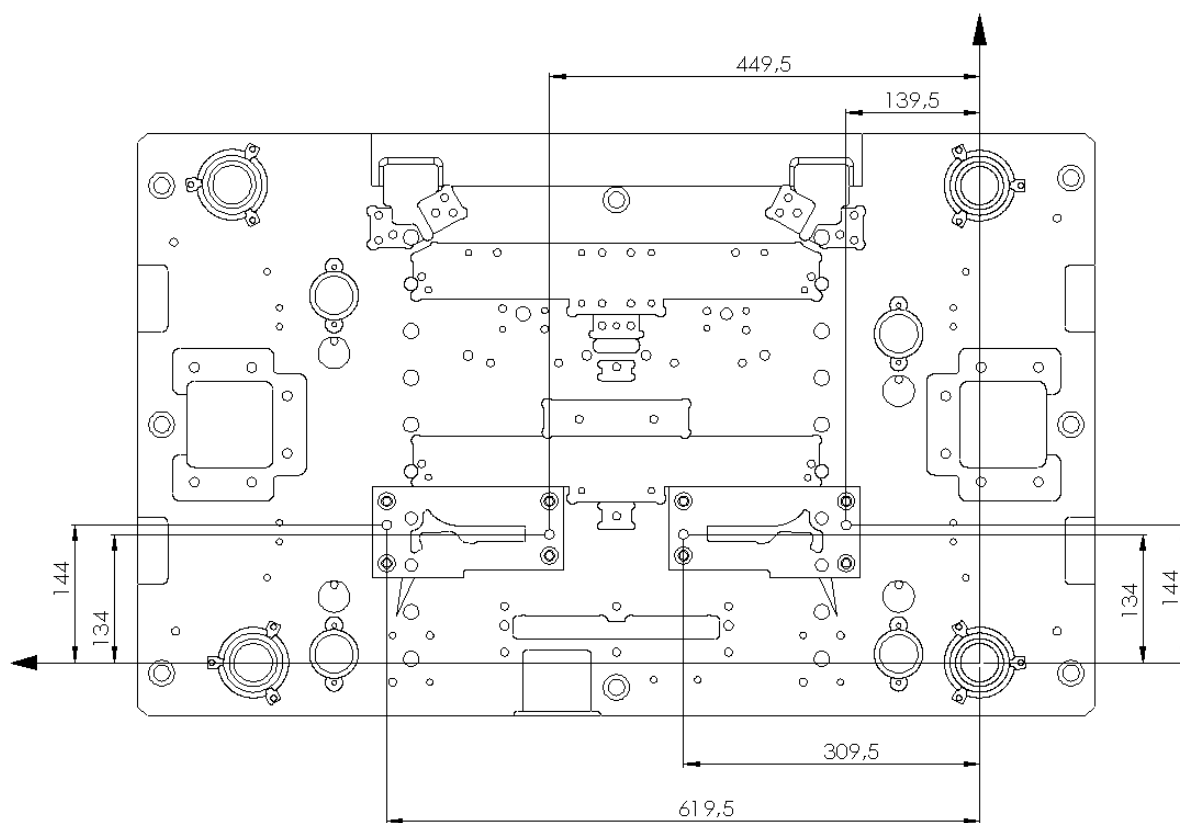


Figura 34: Exemplo da cotação de dois elementos através dos eixos de referência na base.

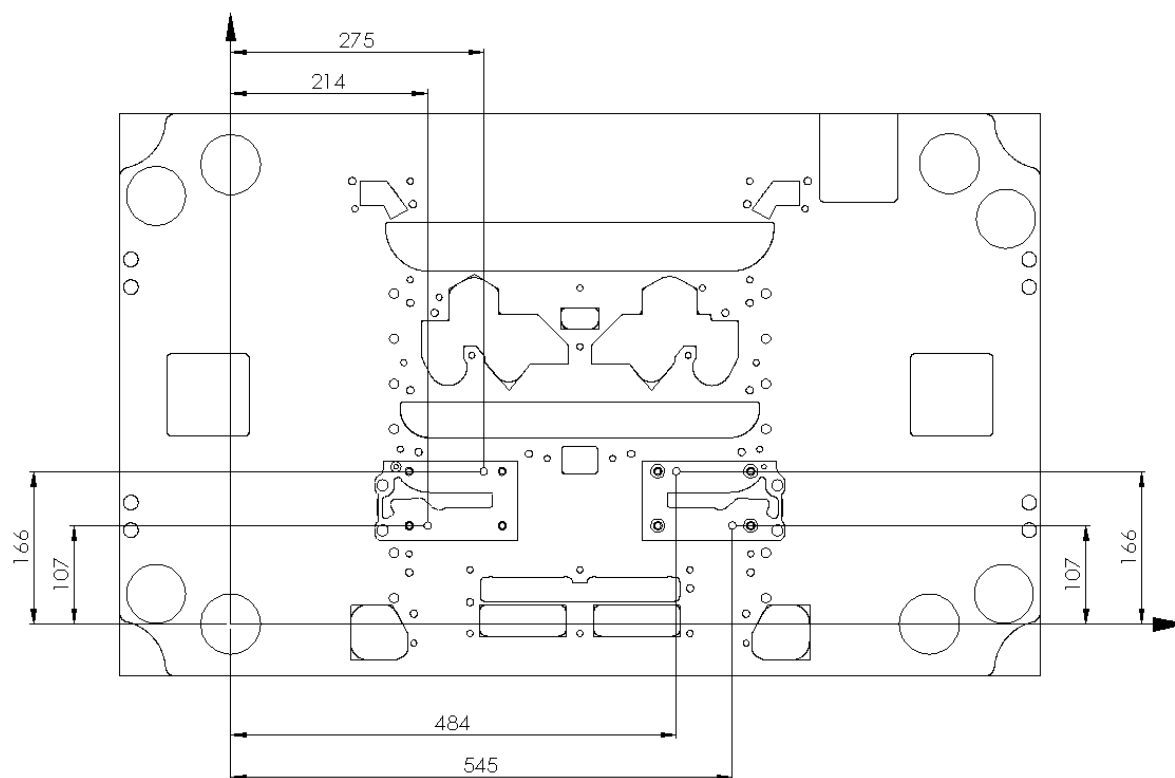


Figura 35: Exemplo da cotação de dois elementos através dos eixos de referência no porta-pisas.

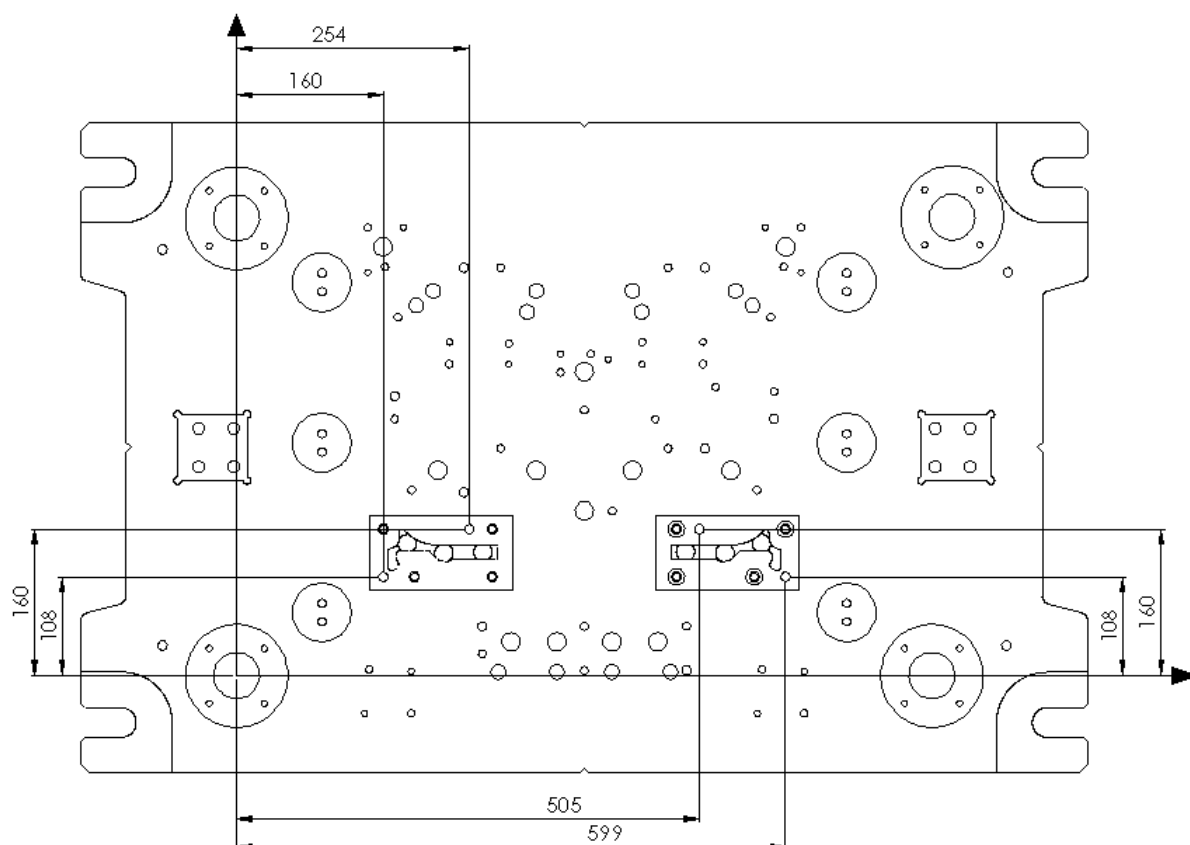


Figura 36: Exemplo da cotação de dois elementos através dos eixos de referência no tecto.

O posicionamento correcto dos punções guia permite que os furos sejam realizados exactamente onde se pretende. É mais um ponto crítico na produção da peça.

Como as colunas guia encontram-se directamente ligadas à base, porta-pisa e tecto. O posicionamento das colunas será utilizado como referência para a montagem dos restantes componentes da ferramenta. Desde que todos os componentes da ferramenta estejam correctamente posicionados relativamente às colunas guia, é possível garantir o seu funcionamento para a produção das peças pretendidas. Os componentes que não dependem da posição das colunas de guia são os de suporte que se encontram em baixo da base, não são componentes funcionais (calços, suporte da base e berço). Tendo como referência as colunas de guia simplifica-se o processo de criação da cadeia de cotas dos componentes.

O posicionamento correcto dos componentes funcionais da ferramenta é realizado na fase de montagem. Com a ferramenta montada marcam-se os pontos onde os punções batem e através destes pontos posicionam-se as matrizes na base. Este método de trabalho origina um maior tempo de montagem e afinação da ferramenta.

Com este trabalho o posicionamento dos componentes funcionais da ferramenta passa para a fase de projecto. Com auxílio de um sistema de toleranciamento eficaz leva a pensar que é possível reduzir significativamente ao tempo de montagem e afinação.

4 Projecto de tolerâncias para o caso de estudo

4.1 Fluxograma de metodologia utilizada

A maneira mais eficaz de apresentar a metodologia que será utilizada é através de um fluxograma com as etapas do processo (ver Figura 37). Segue-se em baixo a descrição do fluxograma.

- 1) Desenho da peça a ser estampada. O cliente fornece à empresa o desenho da peça a ser estudada e que se pretende produzir.
- 2) Perante o desenho da peça procura identificar-se as tolerâncias indicadas e as principais referências que a definem.
- 3) Para cada tolerância procura determinar-se a sua importância ou influência que terá no fabrico/montagem da ferramenta. Para a identificação das tolerâncias críticas é utilizado o critério número 1 (ver pág. - 34 -).
- 4) Quando a tolerância não é considerada crítica, não origina especificações no projecto da ferramenta.
- 5) Das tolerâncias consideradas influentes, identifica-se as que realmente serão tidas em conta no projecto da ferramenta.
- 6) Define-se a sequência de passos da banda para se produzir a peça estampada.
- 7) Determinam-se os componentes funcionais e as relações entre eles.
- 8) Com a sequência de operações e as relações principais entre os componentes definidas, surge a primeira proposta de projecto. Neste ponto já está definida a estrutura, os componentes e as operações a realizar pela ferramenta. A partir deste ponto as atenções voltam-se para a cotação funcional e determinação dos valores de tolerância.
- 9) Criação da cotação funcional para a ferramenta. Os valores das cotas e tolerâncias serão adicionados depois das etapas estarem todas cumpridas.
- 10) Determinação das folgas entre matrizes e punções. Recorre-se a tabelas que definem os valores para estas folgas, dependem do material, espessura da chapa e perímetro de corte (ver 2.1.1).

- 11) Identificação das tolerâncias dimensionais e geométricas. Estas tolerâncias serão analisadas nos passos 12 e 13 para se obterem os respectivos valores.
- 12) As folgas determinadas na etapa 10 originam as tolerâncias de posição. É neste ponto que os valores para estas tolerâncias de posição serão determinados. O critério número 2 (ver pág.- 36 -) permite determinar estas tolerâncias.
- 13) Determinação dos valores das tolerâncias. Neste ponto determinam-se as tolerâncias dimensionais e geométricas que têm como origem as tolerâncias indicadas no desenho da peça e as folgas entre punções e matrizes. Todos os valores de tolerâncias são estabelecidos neste ponto. O critério número 3 (ver pág.- 37 -) permite determinar estas tolerâncias.
- 14) Decomposição da cotação funcional das especificações e dos pontos críticos analisados para as matrizes e punções. Nesta etapa insere-se na cotação funcional o posicionamento dos punções e matrizes para se cumprirem as tolerâncias determinadas para as operações. Estes posicionamentos são importantes para se satisfazer as especificações criadas.
- 15) Definem-se as cadeias de cotas para toda a montagem da ferramenta.
- 16) Analisam-se as cadeias de cotas e os valores de tolerâncias determinados, sempre tendo em conta a vertente funcional.
- 17) Verifica-se se a solução proposta é praticável. O critério número 4 decide se a solução é praticável. Se o resultado não for o pretendido regressa-se ao ponto 8 e procura-se modificar a proposta de resolução.

Critério de decisão 1:

No critério de decisão 1 pretende-se analisar cada tolerância à luz da sua importância para o cumprimento das especificações indicadas pelo cliente no desenho da peça. Para o cumprimento das especificações indicadas estas tolerâncias terão de ser satisfeitas e verificadas.

A tolerância será considerada crítica se dela dependerem outras características importantes do desenho, ou seja, se for tomada como referência para a cotação dos restantes elementos da peça. Outro factor que a torna crítica é o seu valor. As tolerâncias apertadas serão sempre críticas e é necessário ter especial atenção no processo de produção da peça.

Na Tabela 12 é possível verificar as tolerâncias que são consideradas críticas no caso de estudo.

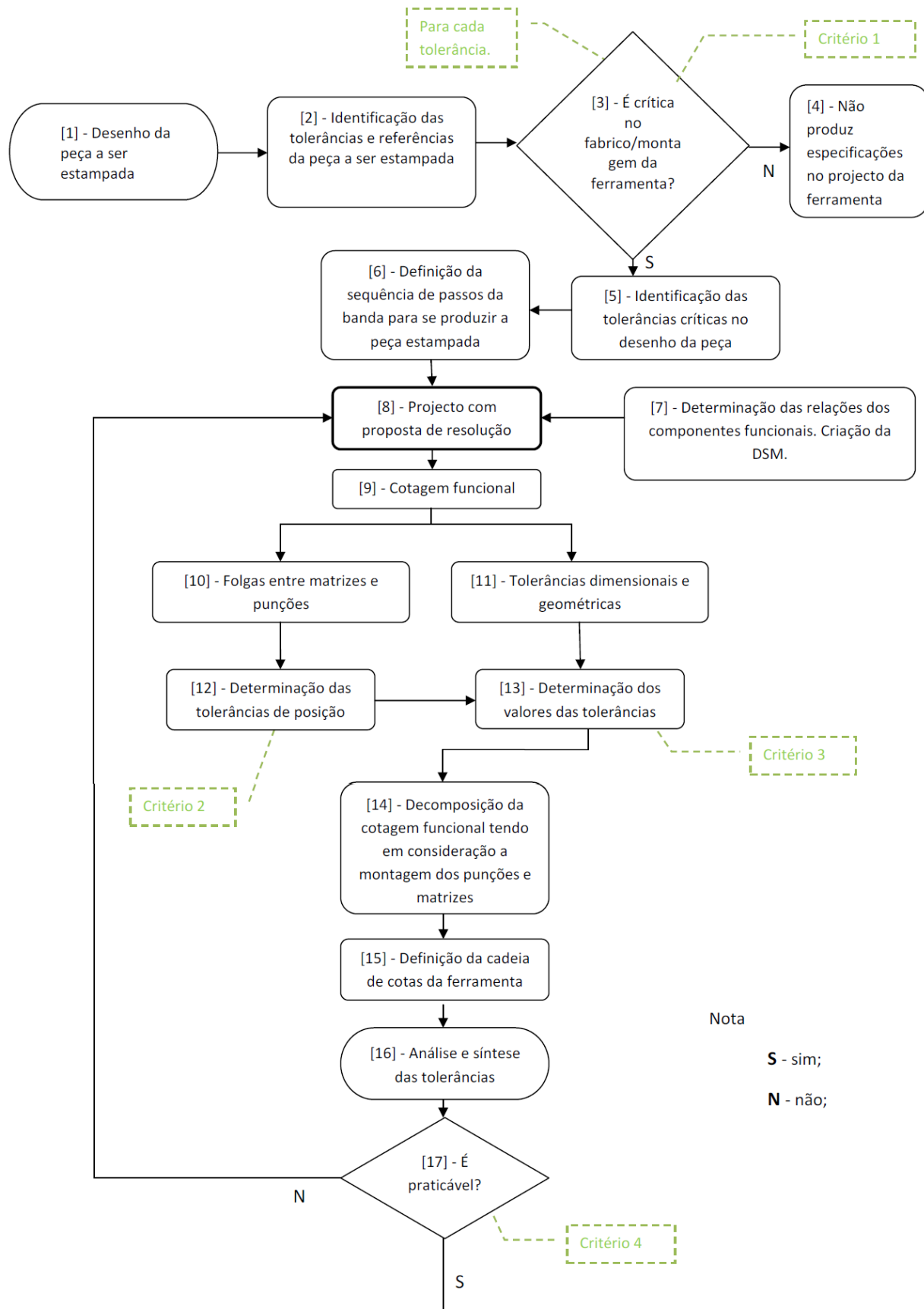


Figura 37 – Fluxograma da metodologia proposta para a sistematização do toleranciamento no projecto de ferramentas.

Os valores de tolerâncias da coluna da Tabela 12 direita são elevados e correspondem a ITs entre 14 e 17, não vão ser considerados nesta fase, pois os processos tecnológicos utilizados na empresa permitem tolerâncias bastante mais apertadas e, portanto não são consideradas críticas.

Tabela 12 – Tolerâncias consideradas críticas e as que não produzem especificações no projecto.

Tolerâncias	
É crítica no fabrico/montagem da ferramenta	Não produz especificações no projecto da ferramenta
$\varnothing 6_0^{+0.2}$ Furo de referência “B”	40 ± 1
$8.1_0^{+0.2} \times 10_0^{+0.3}$ Furo oval de referência “C”	270 ± 1
-	62 ± 1
-	16.2 ± 1
-	$2.3_0^{+0.5}$
-	$12.2_0^{+0.5}$
-	$\begin{array}{ c c c c } \hline \oplus & 0.5 & M & A \ B \\ \hline \end{array}$
-	$\begin{array}{ c c c } \hline \bigcap & 0.4 & A \\ \hline \end{array}$
-	$\begin{array}{ c c c } \hline // & 0.5 & A \\ \hline \end{array}$

Critério de decisão 2:

Critério para determinação das tolerâncias de posição. Neste trabalho considera-se que as tolerâncias de posição, tanto da matriz como do punção, dependem da folga entre matriz e punção. A folga é determinada através da espessura da chapa, do material e do perímetro de corte. A tolerância de posição tanto da matriz como do punção é uma percentagem da folga determinada entre cada punção e matriz. A Figura 38 ajuda a entender este processo.

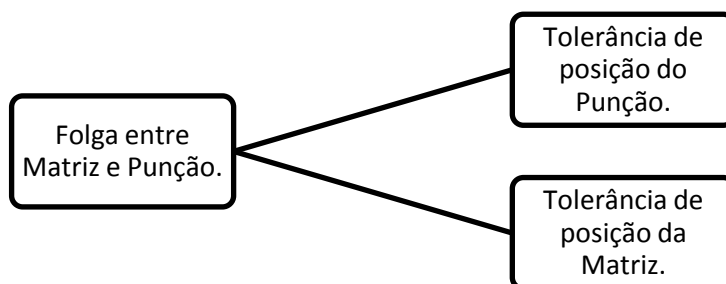


Figura 38 - Processo de determinação da tolerância de posição.

Critério de decisão 3:

Determinação dos valores das tolerâncias. Partindo da tolerância especificada na peça (apenas para tolerâncias dimensionais), da espessura da chapa e do material, pretende determinar-se a folga, as tolerâncias dimensionais e geométricas (posição) do punção e matriz. As tolerâncias dimensionais do punção e matriz apenas dependem da tolerância indicada para o diâmetro do furo.

Existe ainda o caso em que no desenho é especificado uma tolerância de posicionamento. As tolerâncias de posicionamento tanto do punção como da matriz serão definidas após uma análise comparativa da tolerância de posicionamento devido à folga entre matriz e punção e da tolerância de posicionamento. Da comparação será seleccionada a de menor valor de tolerância, garantindo-se que as especificações da tolerância do outro caso são satisfeitas. A tolerância dimensional do punção e da matriz é tomada como uma percentagem da tolerância dimensional indicada no desenho (da peça a produzir com a ferramenta).

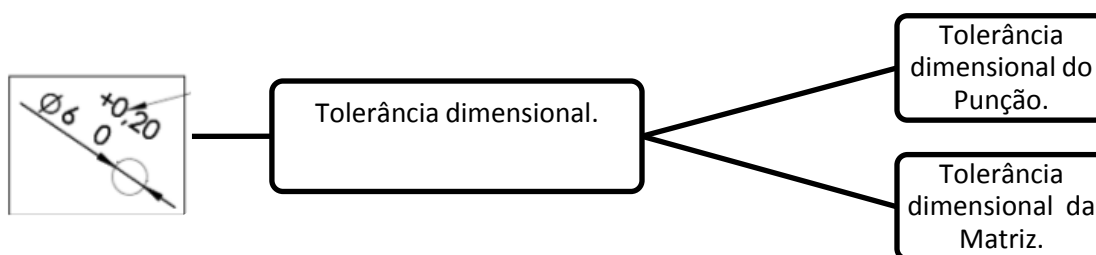


Figura 39 - Processo de determinação da tolerância dimensional do furo B.

Critério de decisão 4:

Após uma análise detalhada, a solução apresentada será praticável se os valores de tolerâncias forem executáveis com os processos de fabrico\produção disponíveis pela empresa. A empresa poderá ter a capacidade de executar as especificações indicadas pela análise de tolerâncias, mas optar por não aplicar a solução apresentada por ser demasiado dispendiosa ou com uma elevada complexidade. Portanto, nesta fase é necessário ter em conta vários factores. Entre eles o custo das operações para execução das tolerâncias pretendidas, a limitação de equipamentos, complexidade das operações e tempo disponível.

4.2 Fluxograma para determinação das tolerâncias de posição

É importante criar uma metodologia para a determinação das tolerâncias de posição para tornar a sua aplicação o mais simples possível.

Para determinar qualquer tolerância de posição no caso de estudo é necessário determinar a folga entre matriz e punção. A tolerância de posição da matriz é igual à do punção. Esta tolerância é uma percentagem da folga entre estes dois elementos.

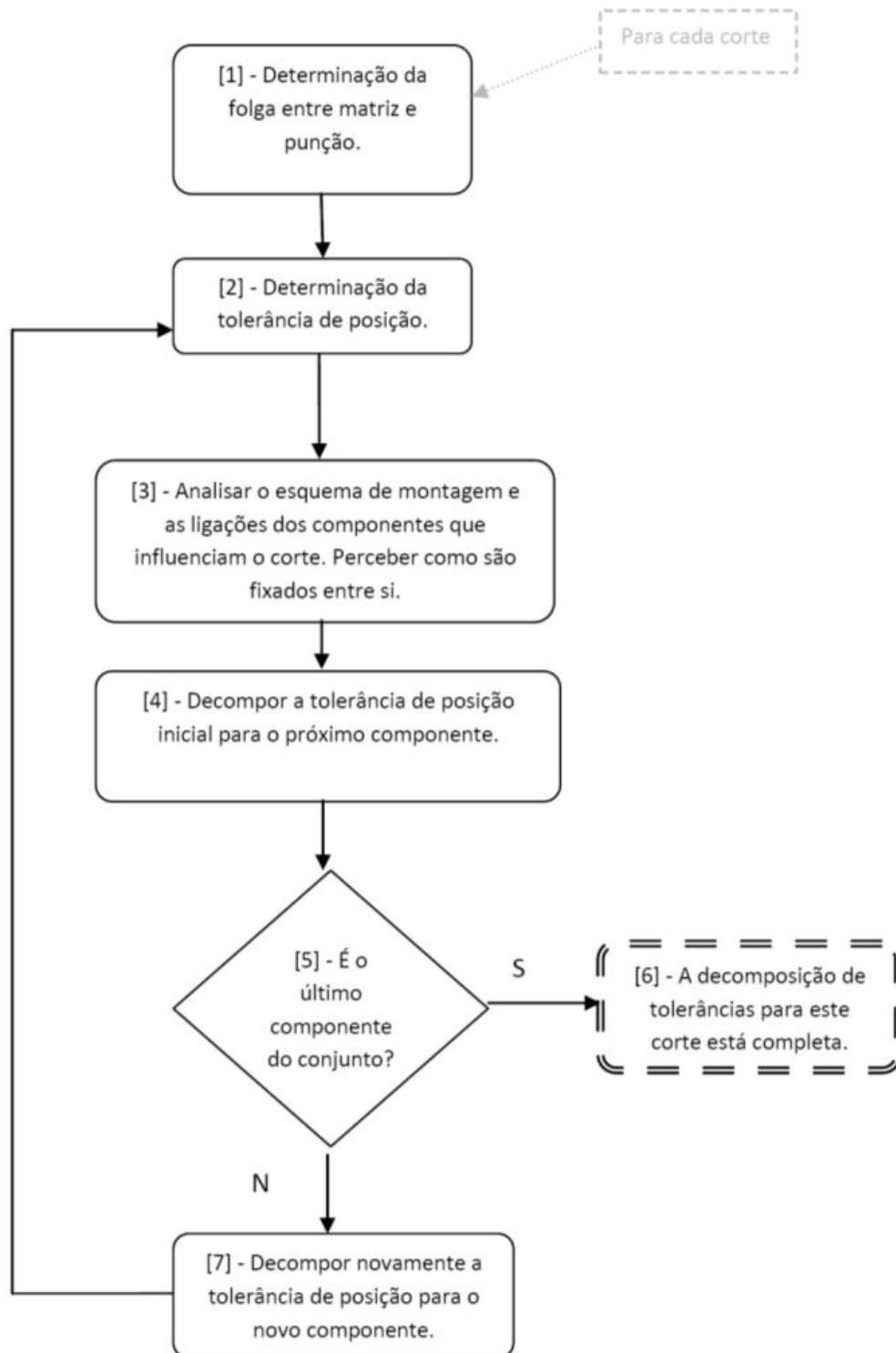


Figura 40 – Fluxograma para determinação das tolerâncias de posição

- 1) Para cada corte que seja considerado crítico serão determinadas as tolerâncias de posição e dimensionais. Para se efectuar a decomposição da tolerância de posição é necessário determinar a folga entre matriz e punção. O método de determinação desta folga foi indicado anteriormente.
- 2) Após a determinação da folga entre punção e matriz calcula-se a tolerância de posição para ambos. A tolerância será dividida igualmente e será uma percentagem da folga anteriormente determinada.
- 3) É necessário entender como os componentes se ligam entre si para que a decomposição o mais simples possível.
- 4) A decomposição tem início com a transição da tolerância de posição inicial para da matriz ou do punção para componente que se segue no esquema de montagem. Na Figura 41 é possível observar-se o exemplo de um esquema de montagem dos componentes do conjunto da matriz que realizam um corte. A decomposição inicia-se no subconjunto bucha de corte e porta-bucha. Como ainda há mais um componente, segue-se a decomposição do porta-bucha para a base. Esta decomposição termina quando se extinguem os componentes do conjunto.

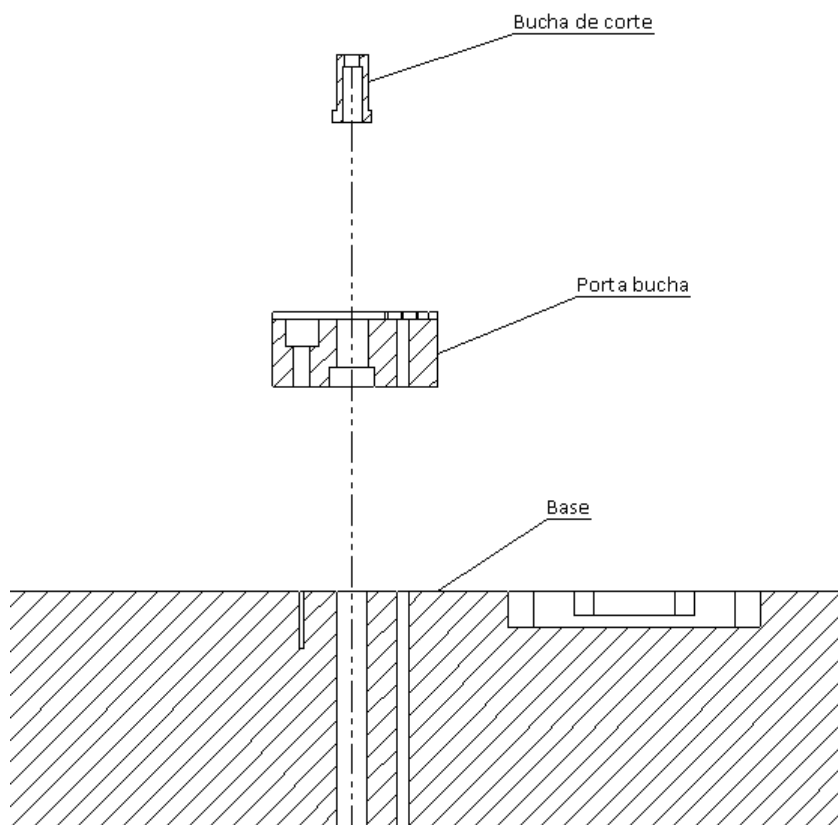


Figura 41 – Exemplo do esquema de montagem dos componentes para a realização de um corte.

- 5) Verificar se é o último componente do conjunto.
- 6) Se se estiver perante o último componente do conjunto a decomposição está terminada.
- 7) Segue-se com a decomposição até que se chegue ao último componente do conjunto.

4.3 Especificações críticas da peça

A identificação das características críticas no desenho da peça (ver Figura 24) é fundamental para o projecto da ferramenta. É neste ponto que se enquadra a análise de tolerâncias. Na Figura 42 estão representadas as características críticas indicadas no desenho da peça.

Da análise do desenho da peça conclui-se que existe um furo de referência a partir do qual são posicionados as restantes características geométricas críticas. Este furo é indicado na Figura 44 como referência B. Este furo tem apenas uma tolerância no seu diâmetro (ver Figura 42 a)). Partindo desta referência posicionam-se os semi-cortes (espaçados de $62 \pm 1\text{mm}$ entre eles) e o furo rasgado C (ver Figura 42 b) e Figura 44). O posicionamento dos semi-cortes faz-se acompanhar por tolerâncias dimensionais com valores de 2mm ($\pm 1\text{mm}$), (ver Figura 42 c)). Uma vez que estes valores de tolerâncias são elevados e correspondem a ITs 15 ou 16, não vão ser considerados nesta fase, pois os processos tecnológicos utilizados na empresa permitem tolerâncias bastante mais apertadas e, portanto não são consideradas críticas. O furo rasgado C é posicionado relativamente ao furo da referência B, sendo caracterizado por duas tolerâncias dimensionais e uma tolerância geométrica de posicionamento, ambas representadas na Figura 42 e). Surgem ainda tolerâncias geométricas de paralelismo (ver Figura 42 d)) e de perfil (ver Figura 42 e)) com valores que possivelmente terão de ser considerados no desenvolvimento do projecto. Examinando os pontos críticos, poder-se-ia esperar que as primeiras operações de estampagem a realizar para se obter a peça em questão, fossem os furos B e C de maneira a serem usadas como referências para as restantes operações.

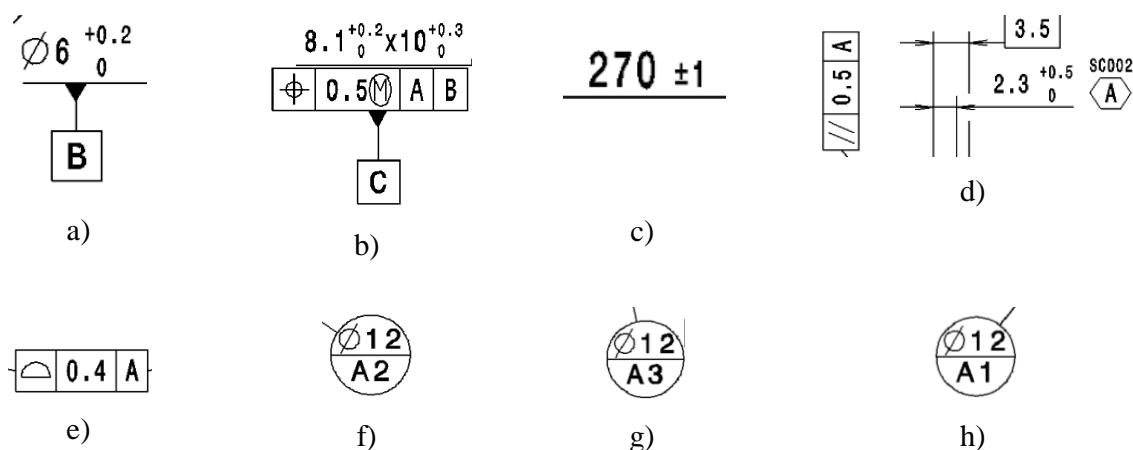


Figura 42 - Exemplos de características relevantes da peça para o trabalho a desenvolver

Porém, a solução apresentada no projecto em estudo mostra que estes furos são feitos na fase final (ver Figura 43). Face às observações feitas em relação aos valores elevados das outras tolerâncias, pode considerar-se pouco relevante a fase em que estes dois furos são realizados, desde que sejam feitos em simultâneo.

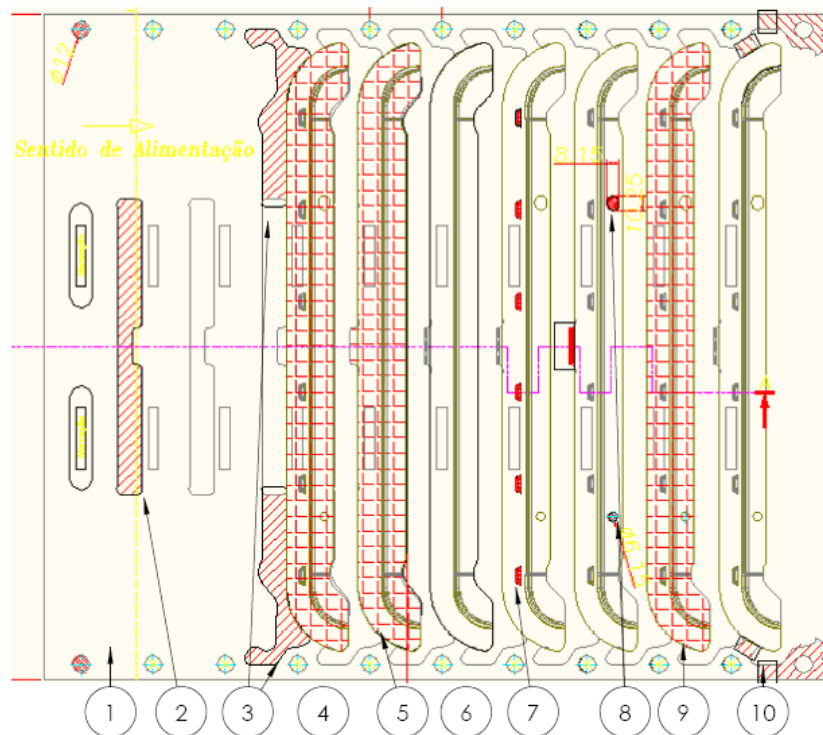


Figura 43 - Banda com a respectiva sequência de passos

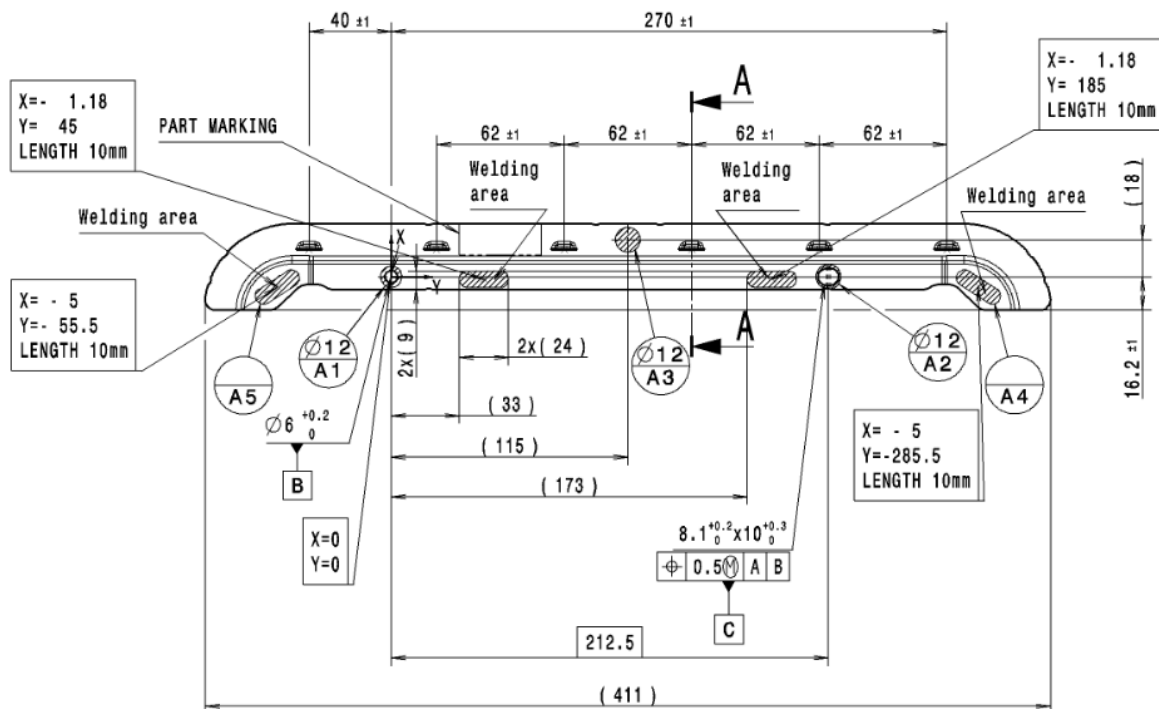


Figura 44 - Pormenor das tolerâncias impostas na peça a estampar.

4.4 Determinação das definições relevantes da ferramenta

4.4.1 Metodologia para a determinação das tolerâncias

Nas Figura 48 e Figura 50 aparece um esquema do desenvolvimento das tolerâncias para o furo de referência B (ver Figura 44). Partindo da tolerância especificada na peça, da espessura da chapa e do material, pretende determinar-se a folga, as tolerâncias dimensionais e geométricas do punção e matriz. Na Figura 49 representa-se a folga entre o punção e a matriz. As tolerâncias dimensionais do punção e matriz apenas dependem da tolerância indicada para o diâmetro do furo. Neste trabalho considera-se que as tolerâncias de posição, tanto da matriz como do punção dependem da folga entre matriz e punção. O valor das tolerâncias de posição para ambos vai ser definido como uma percentagem da folga, cujo valor será determinado caso a caso.

Para o furo rasgado C, a tolerância dimensional inicial origina tolerâncias dimensionais no punção e matriz (ver Figura 72). A folga entre punção e matriz origina tolerâncias de posicionamento do punção e matriz (ver Figura 70 e Figura 71). Para este furo existe ainda a tolerância geométrica de posicionamento que tem como referência o furo B (ver Figura 74). As tolerâncias de posicionamento tanto do punção como da matriz serão definidas após uma análise comparativa da tolerância de posicionamento devido à folga entre matriz e punção e da tolerância de posicionamento que tem como referência o furo B. Da comparação será seleccionada a de menor valor de tolerância, garantindo-se que as especificações das tolerâncias do outro caso são satisfeitas.

4.4.2 Cálculos

Antes de se efectuarem os cálculos que permitem determinar as tolerâncias, é necessário definir as referências principais de que irão depender os componentes da ferramenta.

O posicionamento das colunas será utilizado como referência para a montagem dos restantes componentes da ferramenta. Desde que todos os componentes da ferramenta estejam correctamente posicionados relativamente às colunas guia, é possível garantir o seu funcionamento para a produção das peças pretendidas. Para tal efeito criaram-se eixos de referência definidos pelas colunas, a partir dos quais os elementos da ferramenta serão posicionados. Para se criar os furos por onde passam as colunas guias é necessário definir um furo de referência que serve de origem para os restantes furos. Tanto para a base como para o tecto a referência A é o eixo dos YY, a referência B é o eixo dos XX e a referência C é a superfície onde os furos serão realizados (ver Figura 45 e Figura 46). O posicionamento destes furos é crítico, ou seja, as tolerâncias que os caracterizam terão valores apertados. Uma vez criados os furos das colunas guias, seguem-se os furos que posicionam os componentes da ferramenta à base ou ao tecto.

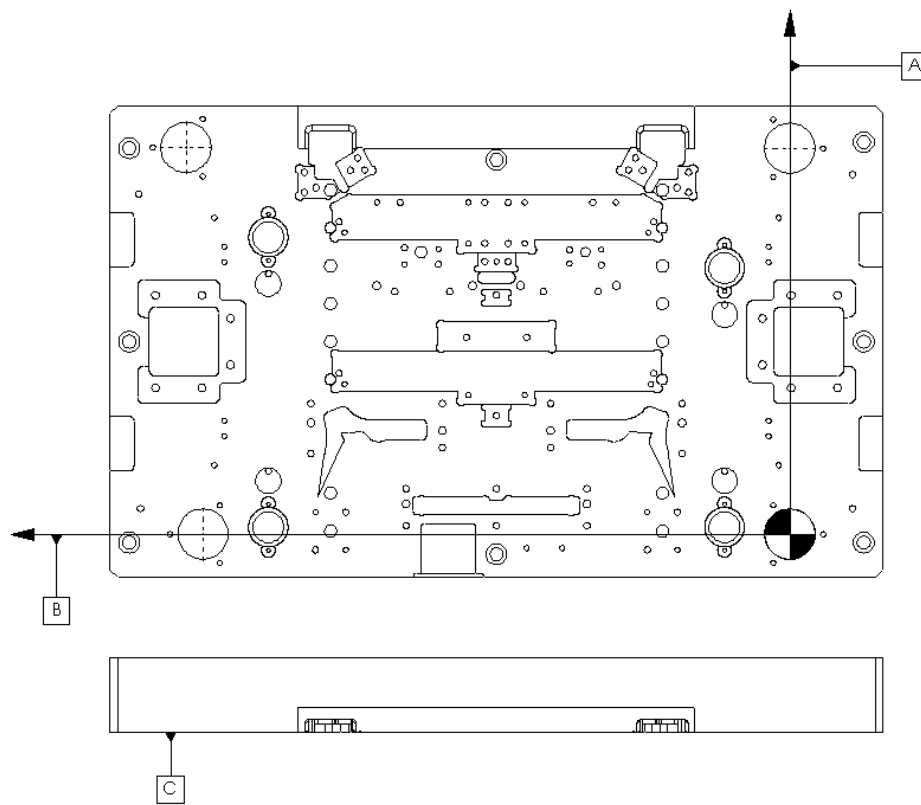


Figura 45 – Referências A, B e C para a base.

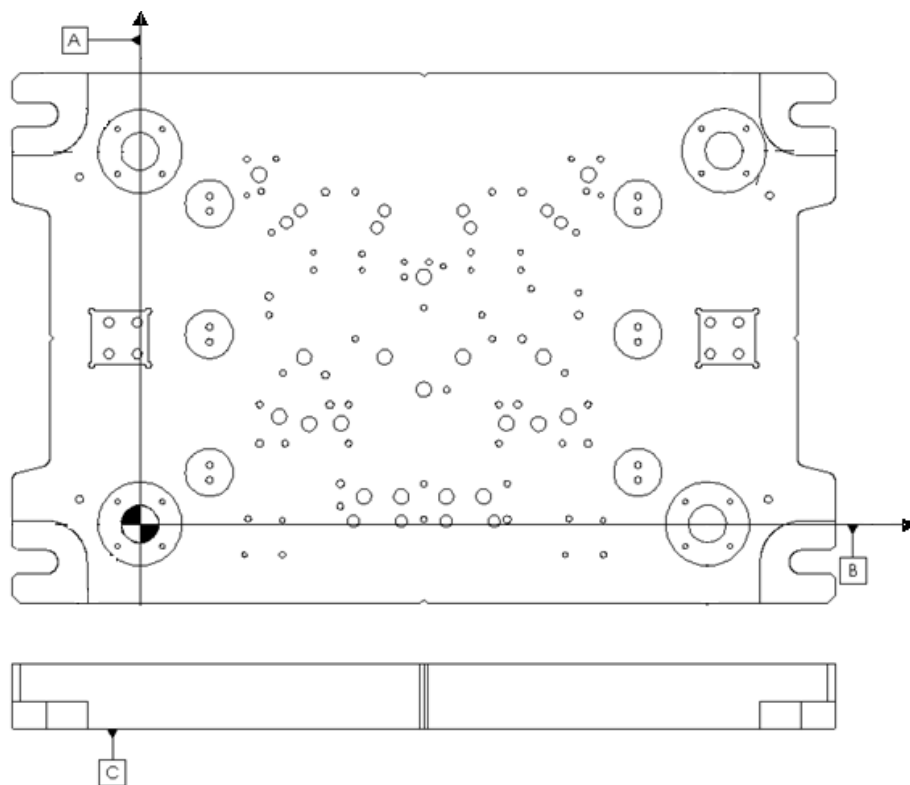


Figura 46 – Referências A, B e C para o tecto.

4.4.2.1 Furo de referência B

Para se determinar a cadeia de cotas para o furo B é necessário entender como os componentes se ligam entre si, para que a decomposição de tolerâncias seja o mais simples possível. É fundamental definir a hierarquia das relações entre os componentes da ferramenta responsáveis pelo corte B.

Para este efeito recorreu-se à matriz da estrutura do projecto, conhecida pela sigla DSM como abreviação da designação no idioma inglês *Design Structure Matrix*. A DSM é utilizada para relacionar as entidades de um tipo para outro, por exemplo, as tarefas que constituem um projecto e pode ser usada para identificar as equipas apropriadas, grupos de trabalho, e uma sequência ideal de como as tarefas podem ser organizadas [18]. Por outras palavras, demonstra quais as informações necessárias para iniciar uma determinada actividade e demonstra o fluxo de dependências. Assim, rapidamente se descobre que tarefas estão dependentes dos *outputs* de cada tarefa. Analisando a DSM, fica-se com uma melhor percepção de como gerir sistemas complexos ou projectos, pois esta técnica evidência os fluxos de informação e a sequência de tarefas.

O resultado está apresentado na Tabela 13 onde se constata que existem dois grupos distintos que são independentes. O grupo dos componentes da base e o grupo dos componentes do tecto. Para os componentes da base há o componente principal a bucha de corte, que é independente. O porta-bucha e a base dependem da bucha de corte o desenvolvimento da cadeia de cotas e consequente montagem.

Tabela 13 – DSM com a sequência de relações de posicionamento entre os componentes do furo de referência B.

		1	2	3	4	5	6	7
Base	1		X					
Porta-Bucha do furo B	2			X				
Bucha de corte do furo B	3							
Tecto	4					X		
Porta-punção principal do furo B	5						X	
Porta-punção do furo B	6							X
Punção de corte do furo B	7							

O furo representado no desenho da peça como “B” está representado na Figura 47. Na Figura 48 está representado o processo que permite determinar a tolerância de posição tanto da matriz como do punção com base no valor da folga. Da Figura 22, em função da espessura e do material da chapa obtém-se o valor de $0,05\text{mm}$ para a folga. Este valor de folga encontra-se dentro dos valores teóricos que afirmam que a folga deve ser entre 5 – 10% da espessura da chapa. No caso de estudo a chapa tem uma espessura de 0.8mm . No entanto a empresa em questão, APAL, utiliza como valor de folga $0,2\text{mm}$ representada na Figura 49. Este valor será

utilizado no desenvolvimento do caso de estudo. A Figura 50 representa o processo de determinação da tolerância dimensional. Na Figura 51 é possível observar-se a bucha de corte que realiza o furo B com as respectivas tolerâncias dimensional e de posição.

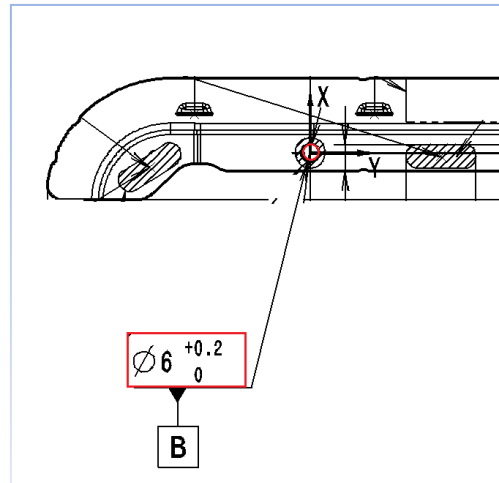


Figura 47 - Tolerância do furo de referência B no desenho da peça

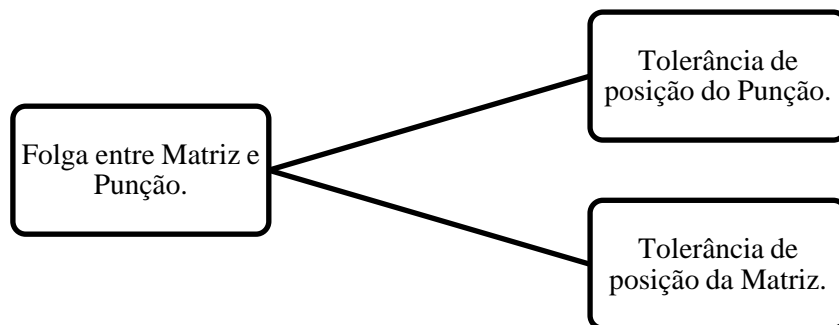


Figura 48 - Processo de determinação da tolerância de posição do furo B.

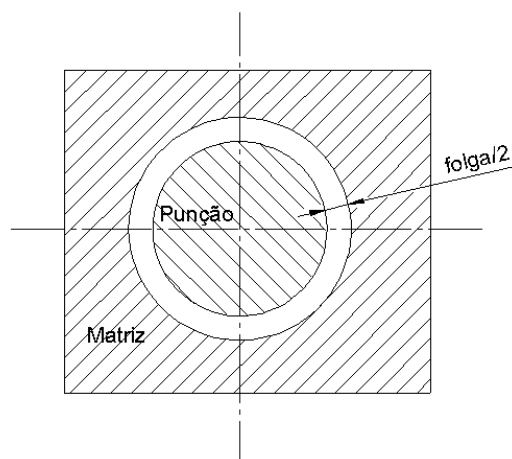


Figura 49 - Folga entre punção e matriz no furo B.

Considera-se que 50% da folga de corte será transferida para a tolerância de posição. Esta percentagem tem de ser analisada caso a caso.

$$\text{➤ Tol. posição punção} = \text{Tol. posição matriz} = \frac{0.2}{2} = 0.1\text{mm}$$

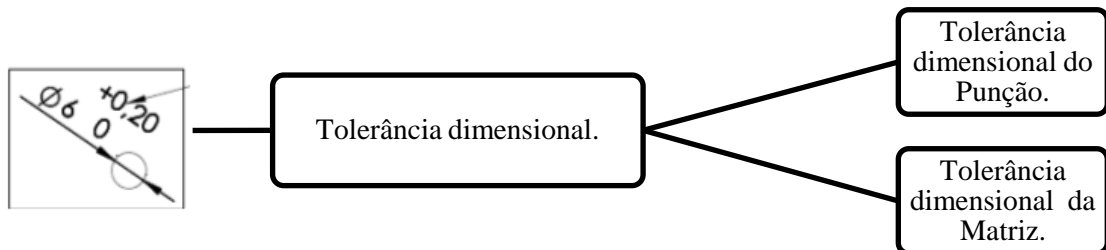


Figura 50 - Processo de determinação da tolerância dimensional do furo B.

Considera-se que 20% da tolerância dimensional do furo será transferida para as tolerâncias do punção e matriz.

$$\text{tol}_{\text{punção}} = \frac{0.2}{5} = 0.04\text{mm}$$

$$\varnothing_{\text{punção}} = \varnothing_{\text{furo}} \Leftrightarrow \varnothing_{\text{punção}} = 6_0^{+0.04}\text{mm}$$

$$\varnothing_{\text{matriz}} = \varnothing_{\text{furo}} + \text{folga} \Leftrightarrow 6_0^{+0.04} + 0.1 \Leftrightarrow \varnothing_{\text{matriz}} = 6.1_0^{+0.04}\text{mm}$$

$$\text{➤ punção: } 6_0^{+0.04}\text{mm}$$

$$\text{➤ matriz: } 6.1_0^{+0.04}\text{mm.}$$

Na Figura 51 está o desenho da bucha de corte para o furo de referência B com as tolerâncias dimensionais e de posição. Na Figura 52 está representado o esquema de montagem dos componentes da parte inferior da ferramenta que realizam o corte “B”. Nesta fase realiza-se a análise das ligações dos componentes. Partindo da tolerância de posicionamento calculada para a

matriz (que nesta situação é chamada de bucha de corte) do furo “B” pretendem-se calcular as tolerâncias para as restantes ligações desta montagem.

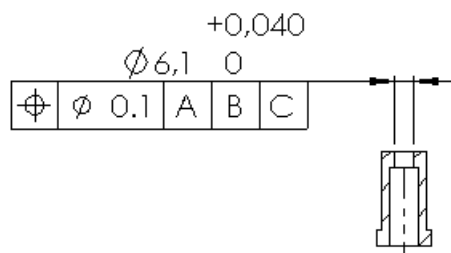


Figura 51 – Indicação das tolerâncias dimensionais e de posicionamento da bucha de corte para o furo de referência B

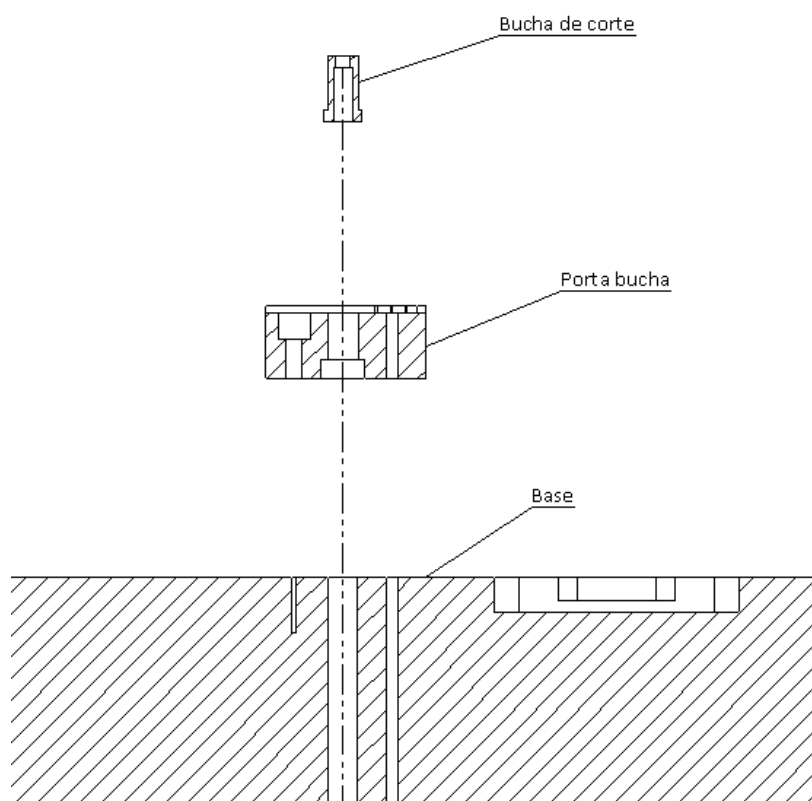


Figura 52 – Esquema da montagem dos componentes da parte inferior da ferramenta que permitem obter o corte de referência B.

A ligação da bucha de corte e o respectivo porta-bucha tem a tolerância total de posicionamento com o diâmetro de $\phi = 0,1\text{mm}$ (ver Figura 51). Este é o desvio total para que se cumpra a especificação indicada na peça para este corte. A primeira operação de decomposição é criar uma tolerância de concentricidade entre a bucha de corte e o porta-bucha. Para esta tolerância de concentricidade considera-se um valor de $0,005\text{mm}$ (ver Figura 53). Para seguir com a decomposição retira-se o valor da tolerância de concentricidade ao valor inicial da tolerância de posição. Será também imposta uma tolerância de perpendicularidade para que a montagem dos dois componentes não permita desvios significativos. Considera-se para o desvio de perpendicularidade um valor total de $0,01\text{mm}$.

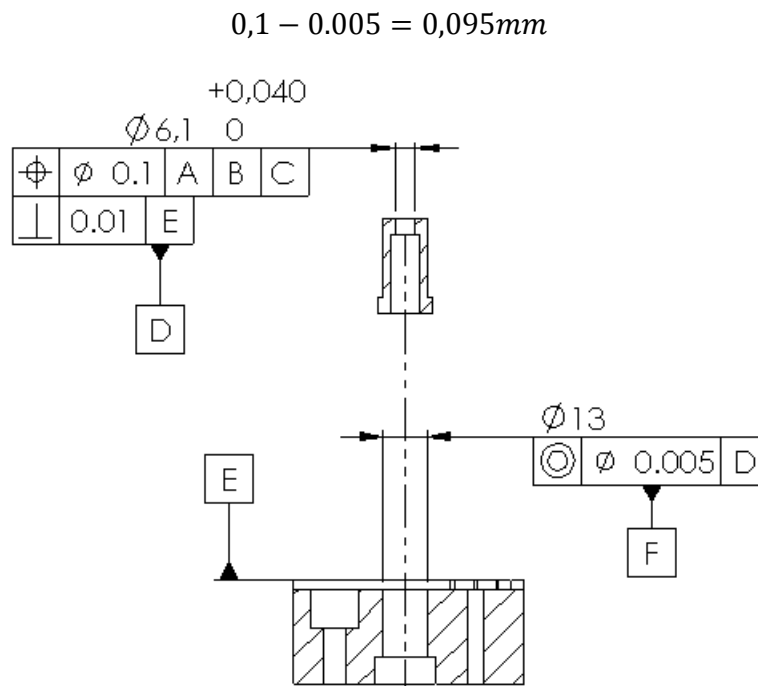


Figura 53 – Tolerância de posição inicial e tolerância de concentricidade do porta-bucha.

Segue-se a decomposição de tolerâncias para a base onde está apoiado o porta-bucha desta operação. Para esta análise é necessário entender como o porta-bucha (ou matriz) é fixada à base da ferramenta. O porta-bucha tem dois furos passantes para pinos guia, dois furos roscados que a fixam à base e um furo que faz a ligação à bucha de corte (ver Figura 54). Nos furos passantes serão inseridas cavilhas de alinhamento. Estas cavilhas têm como função o correcto posicionamento do porta-bucha na base. Sendo assim resta decompor as tolerâncias calculadas até este ponto para o furo das cavilhas (ver Figura 55).

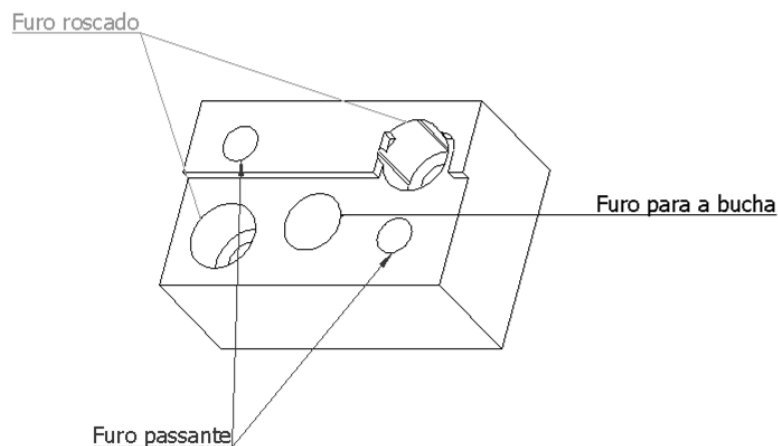


Figura 54 – Esquema da furação na matriz do corte de referência B.

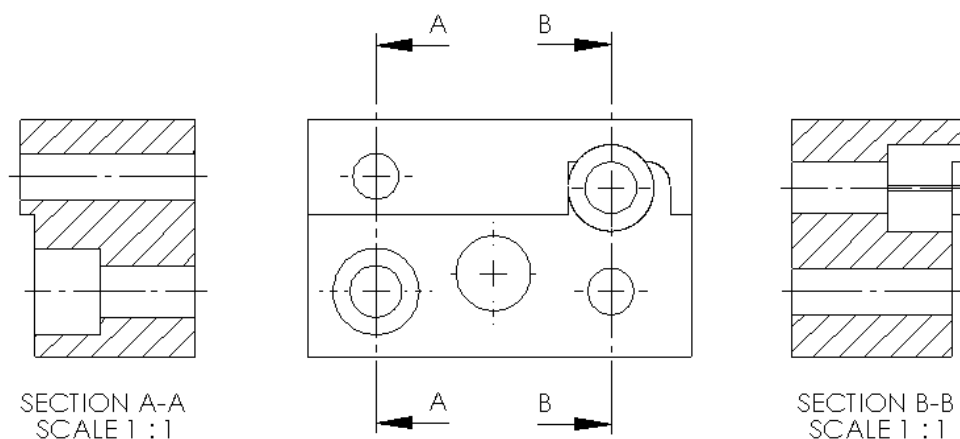


Figura 55 – Imagem de corte dos furos do porta-bucha.

Para se garantir a tolerância de posição do furo onde se insere a bucha de corte é necessário determinar os valores de tolerâncias para os furos passantes que posicionam o porta-bucha na base. O desvio máximo de tolerância permitido para estes furos não pode ultrapassar os $0,095\text{mm}$ de diâmetro. Este valor será igualmente decomposto nos furos da base e do porta-bucha. A Figura 56 representa o esquema que permite determinar esta tolerância para os furos roscados não é necessário apresentar valores de tolerâncias apertados, pois as ligações aparafusadas apresentam sempre alguma folga.

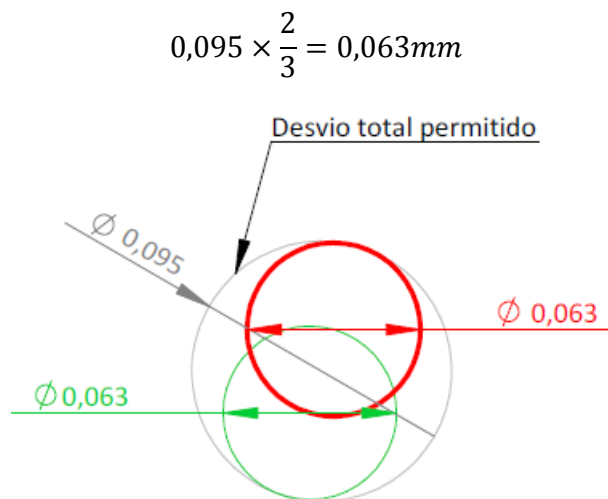


Figura 56 – Esquema da decomposição de tolerâncias para a base do furo “B”.

Na Figura 57 encontram-se representadas as tolerâncias que permitem o posicionamento do corte B, para que se cumpra a especificação de posicionamento deste furo B.

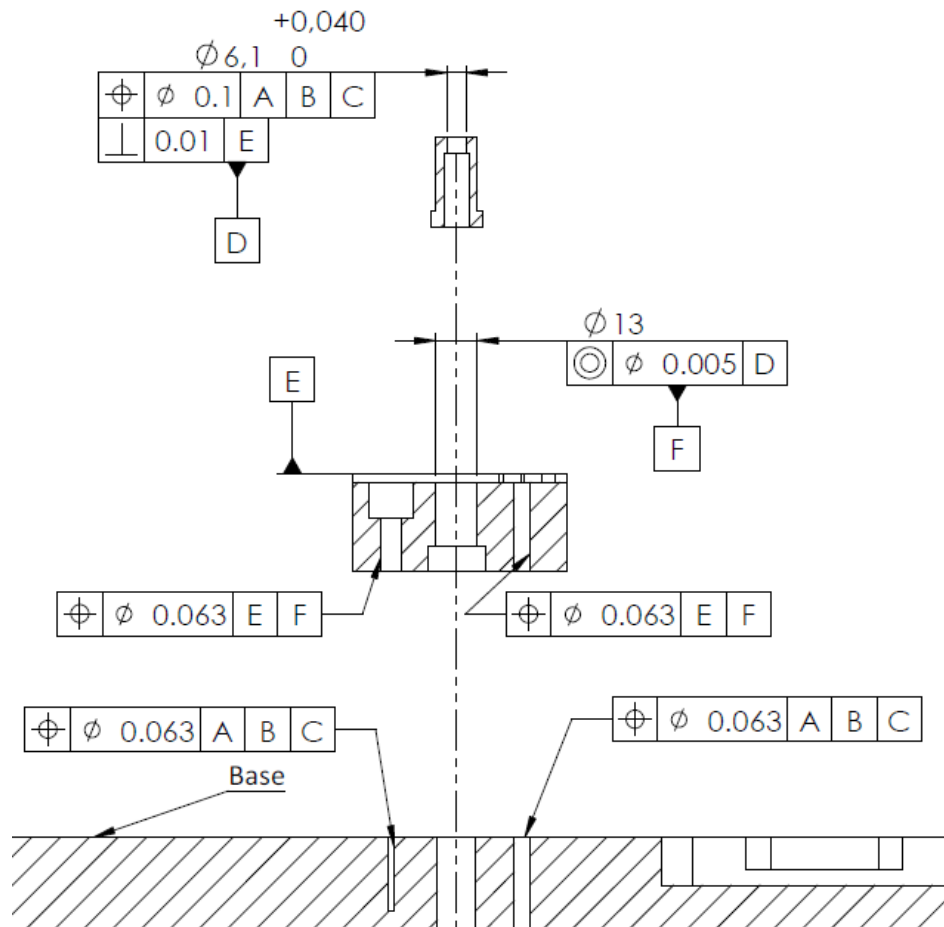


Figura 57 – Tolerâncias de posicionamento para se cumprir a especificação do furo “B” (base).

Segue-se a decomposição de tolerâncias para a parte superior da ferramenta que executa o corte B. Na Figura 58 observam-se os componentes desta operação de corte, na Figura 59 apresenta-se a vista em corte que permite observar como os componentes estão interligados.

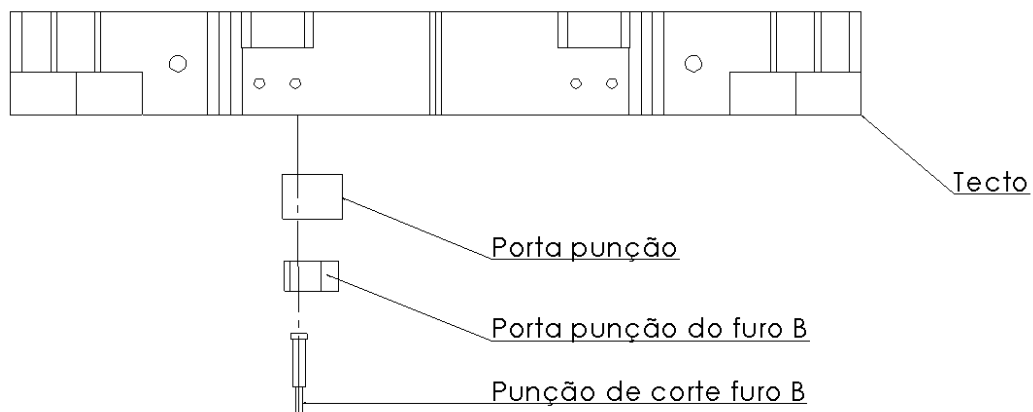


Figura 58 – Montagem dos componentes da parte superior da ferramenta que permitem obter o corte de referência B.

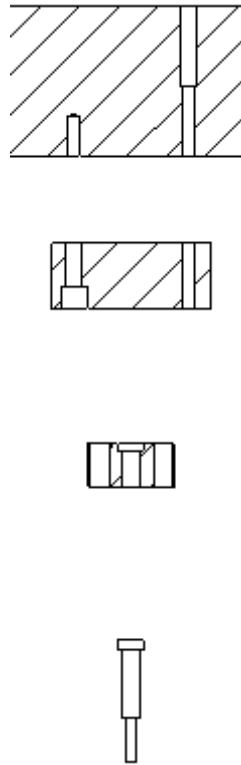


Figura 59 – Imagem de corte da montagem dos componentes da parte superior da ferramenta que permitem obter o corte de referência B.

O punção de corte tem a tolerância total de posicionamento de $\varnothing = 0,1mm$ (ver Figura 60). Este é o desvio total para que se cumpra a especificação indicada na peça para este corte. A primeira operação de decomposição é criar uma tolerância de concentricidade entre o punção de corte e porta-punção do furo B. Para a tolerância de concentricidade atribuiu-se um valor de 0,005mm (ver Figura 61). Será também imposta uma tolerância de perpendicularidade para que a montagem dos dois componentes não permita desvios significativos. Considera-se para o desvio de perpendicularidade um valor total de 0,01mm.

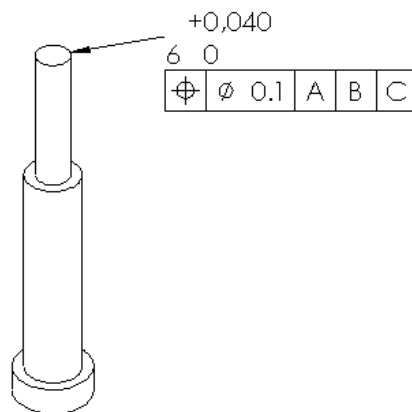


Figura 60 -Indicação das tolerâncias dimensionais e de posicionamento do punção o furo de referência B

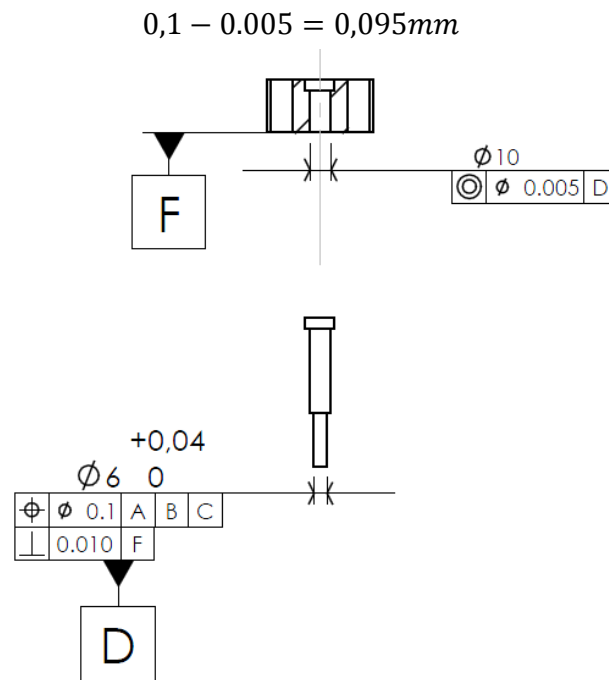


Figura 61 - Tolerância de posição inicial e tolerância de concentricidade do porta-bucha.

Nas Figura 62 Figura 63 apresentam-se os furos que permitem as ligações entre os componentes. Nos furos passantes serão inseridas cavilhas de posicionamento para o alinhamento correcto dos componentes. Nestas figuras apenas são referenciados os furos passantes, pois são críticos na montagem dos componentes, os restantes furos não indicados são furos associados a ligações roscadas, que não necessitam de tolerâncias tão apertadas ou talvez nem necessitem de ter tolerâncias de posição.

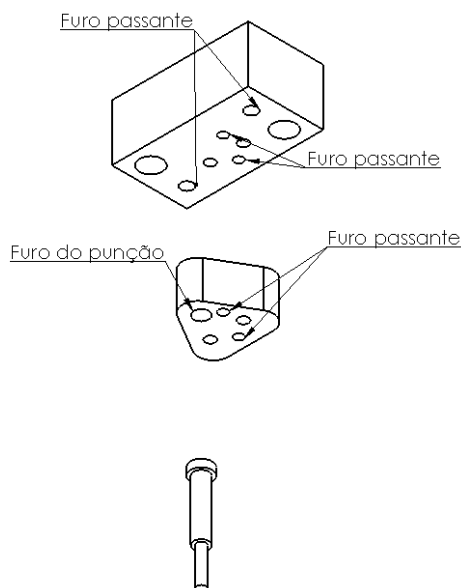


Figura 62 – Imagem dos furos que permitem a ligação dos componentes que executam o corte B.

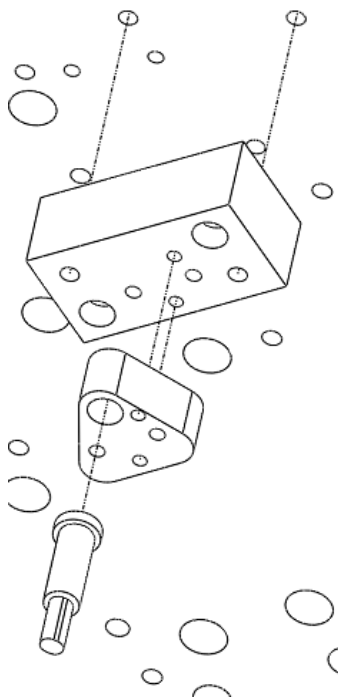


Figura 63 – Esquema de ligação dos componentes ao tecto.

Como foi determinado na parte inferior da ferramenta, para se cumprir a tolerância indicada para este corte as restantes tolerâncias serão determinadas com auxílio de esquemas que ajudam a entender estas ligações. Partindo da tolerância de posicionamento ($\varnothing = 0,095mm$) do porta-punção principal, determinam-se as tolerâncias para o restante conjunto. Após o porta-punção principal surge o porta-punção secundário e a base. Os furos de posicionamento onde são inseridas as cavilhas fazem parte do porta-punção principal e porta-punção secundário. Ou seja, a tolerância de posicionamento de $\varnothing = 0,095mm$ será dividida igualmente pelos dois componentes (ver Figura 64 e Figura 65).

$$0,095 \times \frac{2}{3} = 0,063mm$$

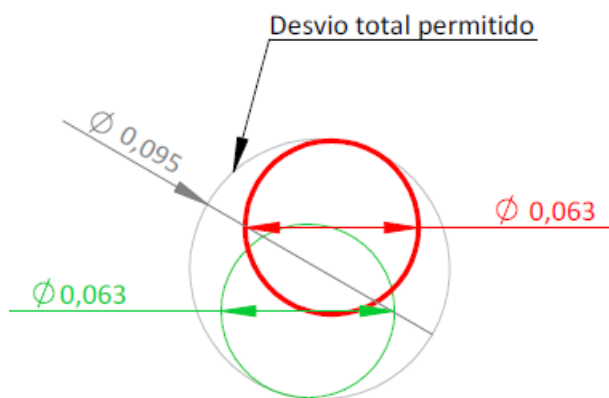


Figura 64 - Esquema da decomposição da tolerância de posicionamento do porta-punção principal para o porta-punção secundário (furo B - Tecto).

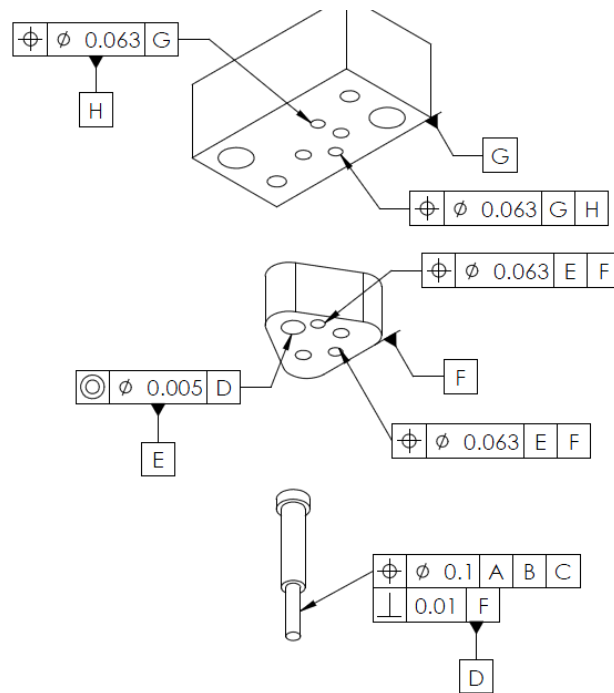


Figura 65 – Indicação da decomposição das tolerâncias do punção, porta-punção principal e porta-punção secundário.

A ligação ao tecto é feita por outros 2 furos de posicionamento através de cavilhas. Para esta última ligação é necessário decompor o valor obtido até este ponto pela última vez. Mais uma vez o esquema será idêntico (ver Figura 66 e Figura 67)

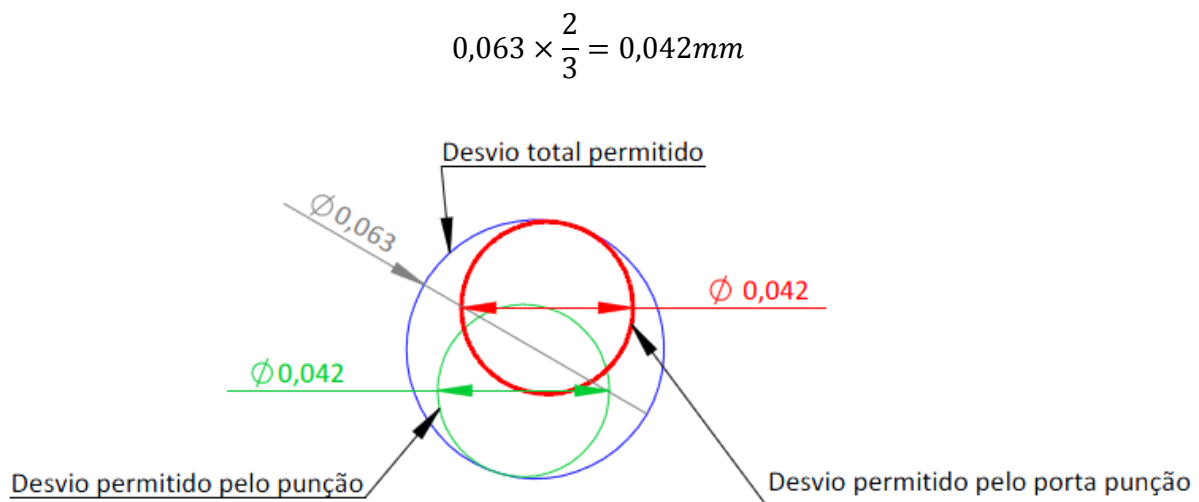


Figura 66 – Esquema da decomposição da tolerância do porta-punção secundário para a base (furo B - tecto).

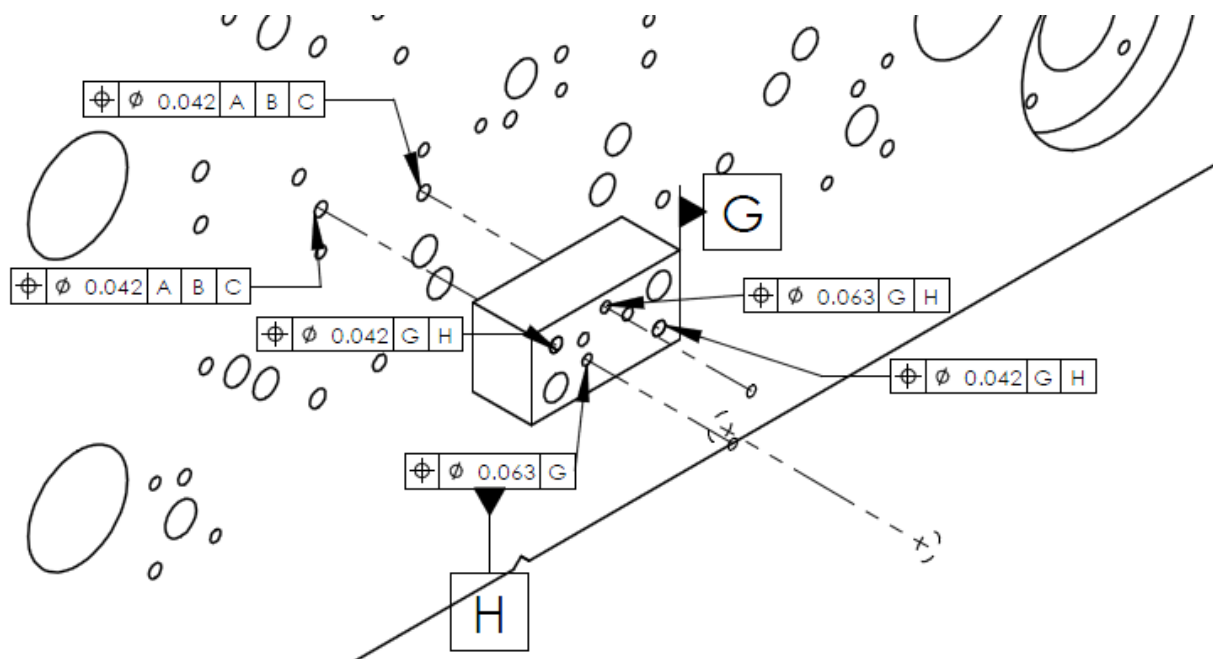


Figura 67 – Indicação da decomposição das tolerâncias do porta-punção secundário para a base (furo B - tecto).

Na Figura 68 apresentam-se o conjunto de tolerâncias que permite a ligação de todos os componentes de maneira a cumprir a especificação no desenho da peça para este furo.

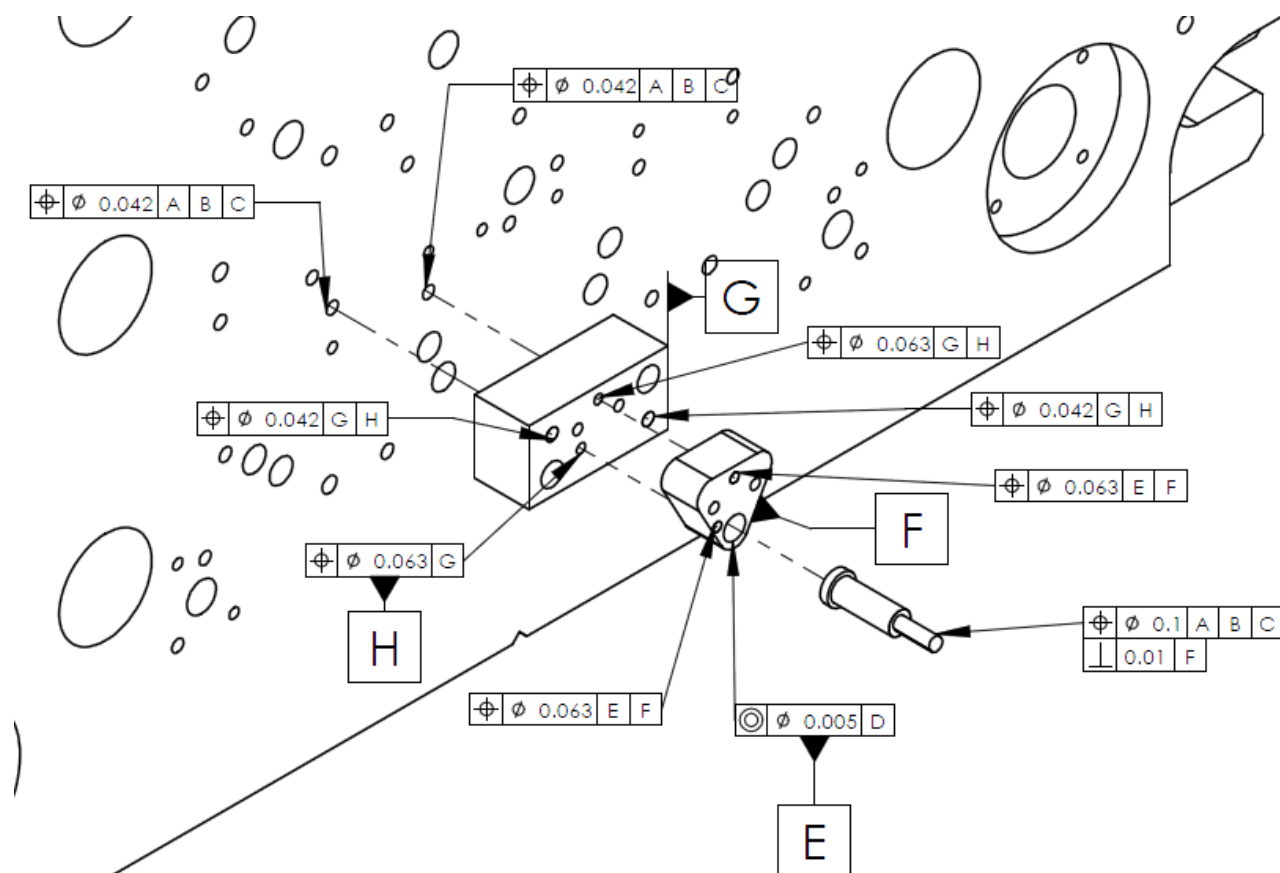


Figura 68 – Tolerâncias de posicionamento para se cumprir a especificação do furo “B” (tecto).

4.4.2.2 Furo oval de referência C

É fundamental definir a hierarquia das relações entre os componentes da ferramenta responsáveis pelo corte C, para isso será aplicado novamente a DSM.

O resultado está apresentado na Tabela 14 onde se constata que existem dois grupos distintos que são independentes. O grupo dos componentes da base e o grupo dos componentes do tecto. Para os componentes da base há o componente principal a bucha de corte, que é independente. O porta-bucha e a base dependem da bucha de corte o desenvolvimento da cadeia de cotas e consequente montagem.

Tabela 14 - DSM com a sequência de relações entre os componentes do furo de referência C.

		1	2	3	4	5	6	7
Base	1		X					
Porta-Bucha do furo C	2			X				
Bucha de corte do furo C	3							
Tecto	4					X		
Porta-punção principal do furo C	5						X	
Porta-punção do furo C	6							X
Punção de corte do furo C	7							

O furo em questão está representado na Figura 69. Na Figura 71 apresenta-se o processo de determinação das tolerâncias de posição do punção e da matriz com origem na folga entre eles (ver

Figura 70). Para a folga de corte considera-se um valor de 0,2mm definida pela empresa do caso de estudo.

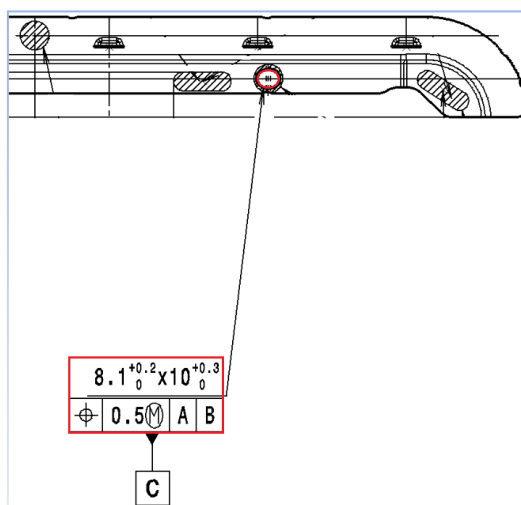


Figura 69 - Tolerância do furo de referência C no desenho da peça

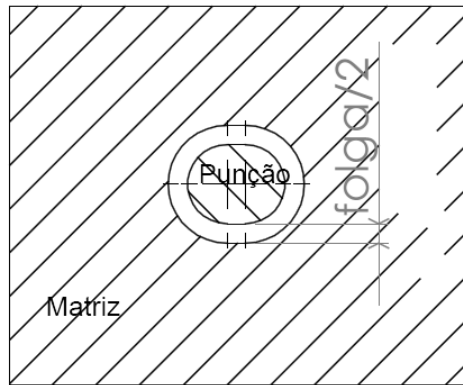


Figura 70 - Folga entre punção e matriz no furo C.

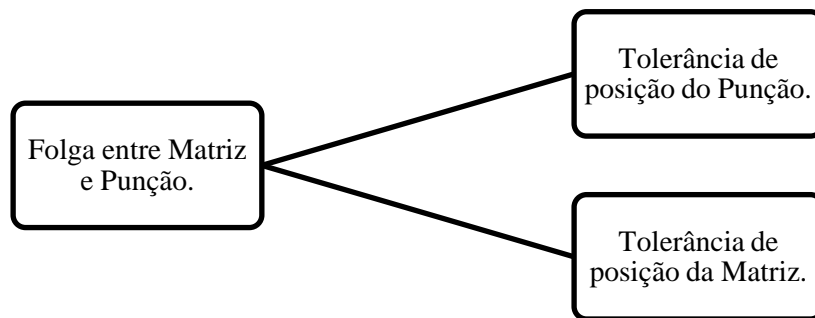


Figura 71 - Processo de determinação da tolerância de posição do furo C.

Aceita-se que 50% da folga de corte será transferida para a tolerância de posição. Esta percentagem tem de ser analisada caso a caso.

$$Tol. posição punção = Tol. posição matriz = \frac{0.2}{2} = 0.1mm$$

Nas Figura 72 e Figura 73 apresentam-se os processos para o cálculo das tolerâncias dimensionais para o furo rasgado.

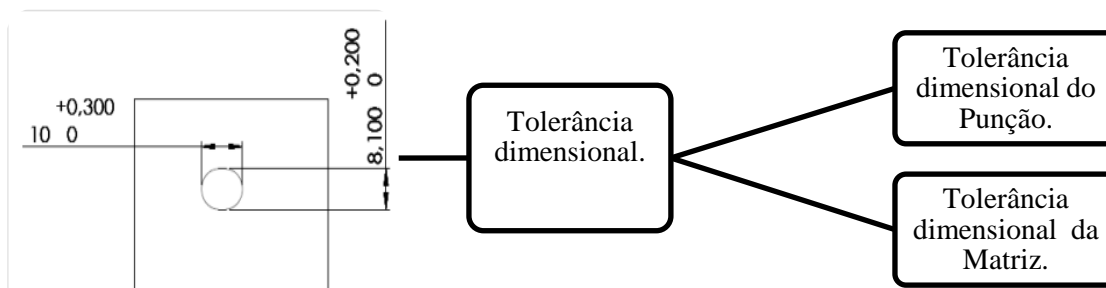


Figura 72 - Processo de determinação da tolerância dimensional do furo C.

Atribuir-se que 20% da tolerância dimensional do furo será transferida para as tolerâncias do punção e matriz.

$$tol_{punção} = \frac{0.2}{5} = 0.04mm$$

$$\phi_{punção} = \phi_{furo} \Leftrightarrow \phi_{punção} = 8.1_0^{+0.04}mm$$

$$\phi_{matriz} = \phi_{furo} + folga \Leftrightarrow (8.1_0^{+0.04}) + 0.1 \Leftrightarrow \phi_{matriz} = 8.2_0^{+0.04}mm$$

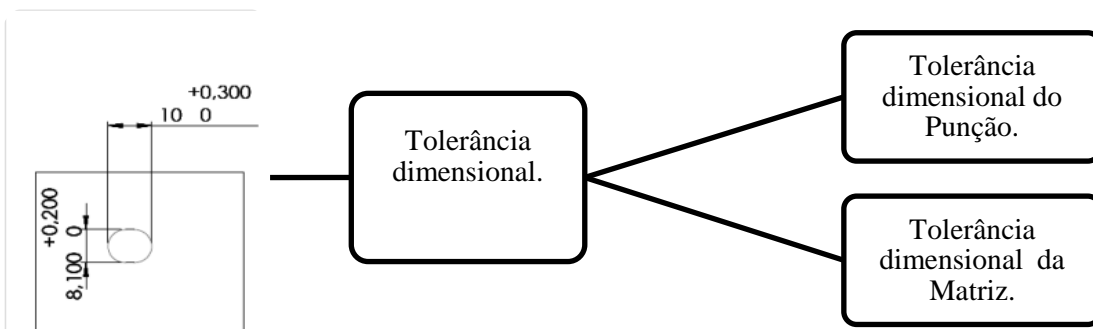


Figura 73 - Processo de determinação da tolerância dimensional do furo C.

$$tol_{punção} = \frac{0.3}{5} = 0.06mm$$

$$\phi_{punção} = \phi_{furo} \Leftrightarrow \phi_{punção} = 10.0_0^{+0.06}mm$$

$$\phi_{matriz} = \phi_{furo} + folga \Leftrightarrow (10.0_0^{+0.06}) + 0.1 \Leftrightarrow \phi_{matriz} = 10.1_0^{+0.06}mm$$

$$\text{punção: } 8.1_0^{+0.04} \times 10.0_0^{+0.06}mm$$

$$\text{matriz: } 8.2_0^{+0.04} \times 10.1_0^{+0.06}mm$$

Na Figura 74 apresenta-se o esquema do cálculo das tolerâncias de posição do punção e da matriz, com origem no posicionamento do furo rasgado relativamente ao furo de referência B. Da tolerância de posicionamento devido à folga entre matriz e punção e da tolerância de posicionamento que tem como referência o furo B, será seleccionada a de menor valor. Neste caso o menor valor de tolerância é o obtido devido à folga entre punção e matriz.

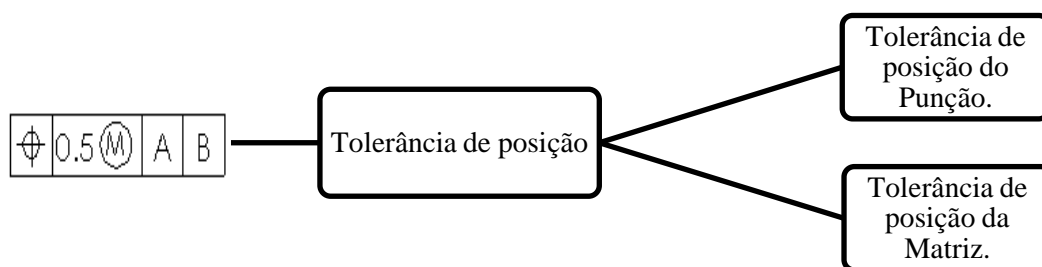


Figura 74 – Processo de determinação da tolerância de posição do furo C.

Na Figura 75 está representado o esquema de montagem dos componentes da parte inferior da ferramenta que realizam o corte “C”. Nesta fase realiza-se a análise das ligações dos componentes da parte inferior da ferramenta. Partindo da tolerância de posicionamento calculada para a matriz (que nesta situação é chamada de bucha de corte) do furo “C” pretende-se determinar as tolerâncias para as restantes ligações desta montagem.

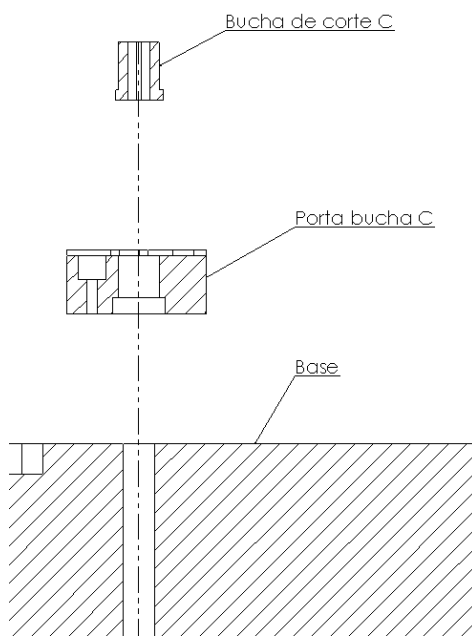


Figura 75 – Esquema dos componentes da parte inferior da ferramenta que executam o corte C.

A ligação da bucha de corte e o respectivo porta-bucha tem a tolerância total de posicionamento com o diâmetro de $\varnothing = 0,1\text{mm}$ (ver Figura 76). Este é o desvio total para que se cumpra a especificação indicada na peça para este corte. A primeira operação de decomposição é criar uma tolerância de concentricidade entre a bucha de corte e o porta-bucha. Para esta tolerância de concentricidade considera-se um valor de 0,005mm (ver Figura 77). Para seguir com a decomposição retira-se o valor da tolerância de concentricidade ao valor inicial da tolerância de posição. Será também imposta uma tolerância de perpendicularidade para que a montagem dos dois componentes não permita desvios significativos. Considera-se para o desvio de perpendicularidade um valor total de 0,01mm.

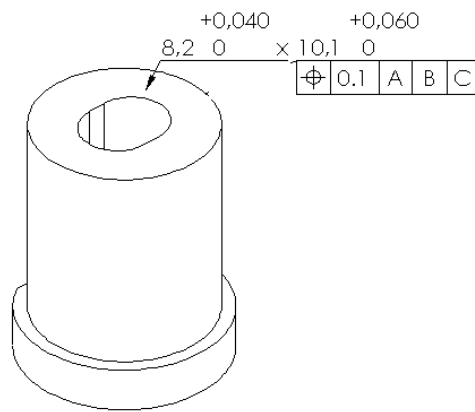


Figura 76 - Indicação das tolerâncias dimensionais e de posicionamento da bucha de corte para o furo de referência C.

$$0,1 - 0,005 = 0,095mm$$

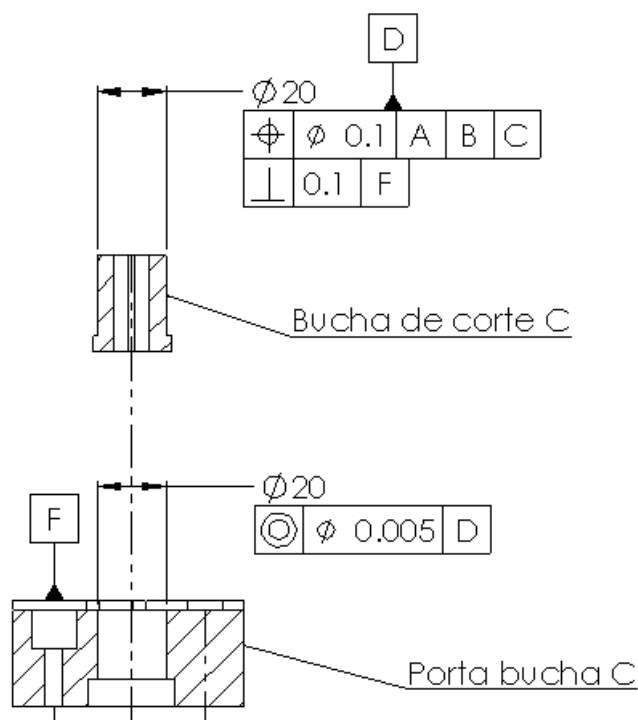


Figura 77 – Tolerâncias de posicionamento da bucha e porta-bucha.

Segue-se a decomposição das tolerâncias para a base onde está apoiado o porta-bucha desta operação. Para esta análise é necessário entender como o porta-bucha (ou matriz) é fixada à base da ferramenta. O porta-bucha tem dois furos passantes, dois furos roscados que a fixam à base e um furo que faz a ligação à bucha de corte. Nos furos passantes serão inseridas cavilhas de alinhamento. Estas cavilhas têm como função o correcto posicionamento do porta-bucha na base. Sendo assim resta decompor as tolerâncias calculadas até este ponto para o furo das cavilhas (ver Figura 78).

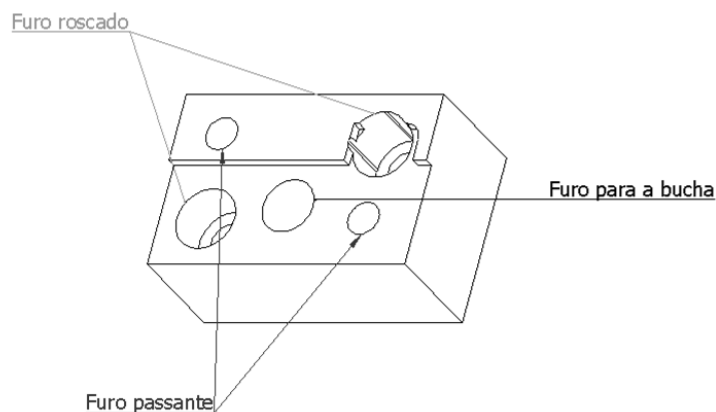


Figura 78 – Esquema da furação na matriz do corte de referência C.

Para se garantir a tolerância de posição do furo onde se insere a bucha de corte é necessário determinar os valores de tolerâncias para os furos passantes que posicionam o porta-bucha na base. O desvio máximo de tolerância permitido para estes furos não pode ultrapassar os $0,095\text{mm}$ de diâmetro. Este valor será decomposto nos furos da base e do porta-bucha, cada um com um máximo valor de tolerância permitido de maneira a cumprir a especificação anterior de $0,095\text{mm}$ de diâmetro. A Figura 79 representa o esquema que permite determinar esta tolerância. Para os furos roscados não é necessário apresentar valores de tolerâncias apertados, pois as ligações aparafusadas apresentam sempre alguma folga.

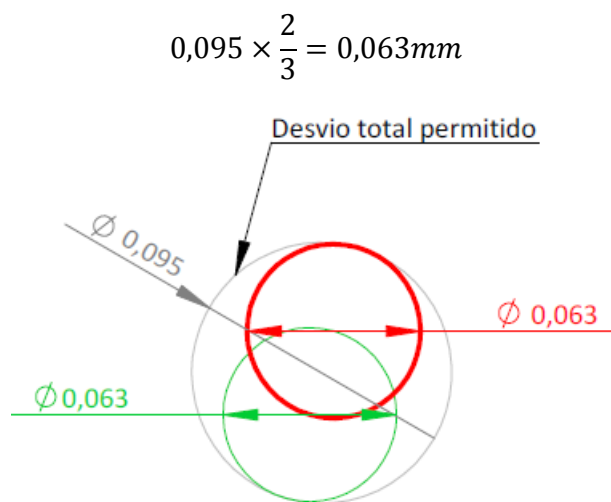


Figura 79 – Esquema da decomposição de tolerâncias para a base do furo “C”.

Na Figura 80 encontram-se representadas a decomposição da parte inferior das tolerâncias que permitem o posicionamento do corte C, para que se cumpra a especificação inicial.

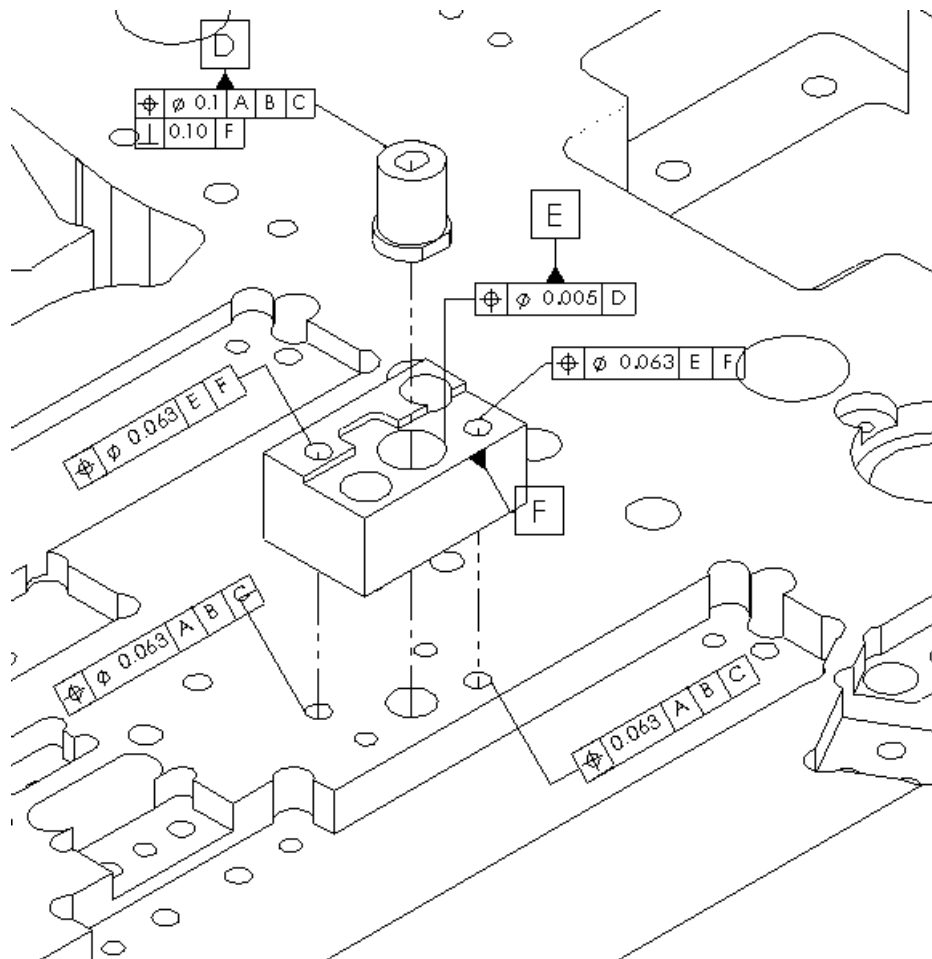


Figura 80 – Tolerâncias de posicionamento para se cumprir a especificação do furo "B" (base).

Segue-se a decomposição de tolerâncias para a parte superior da ferramenta que executam o corte C. Na Figura 81 observam-se os componentes desta operação de corte.

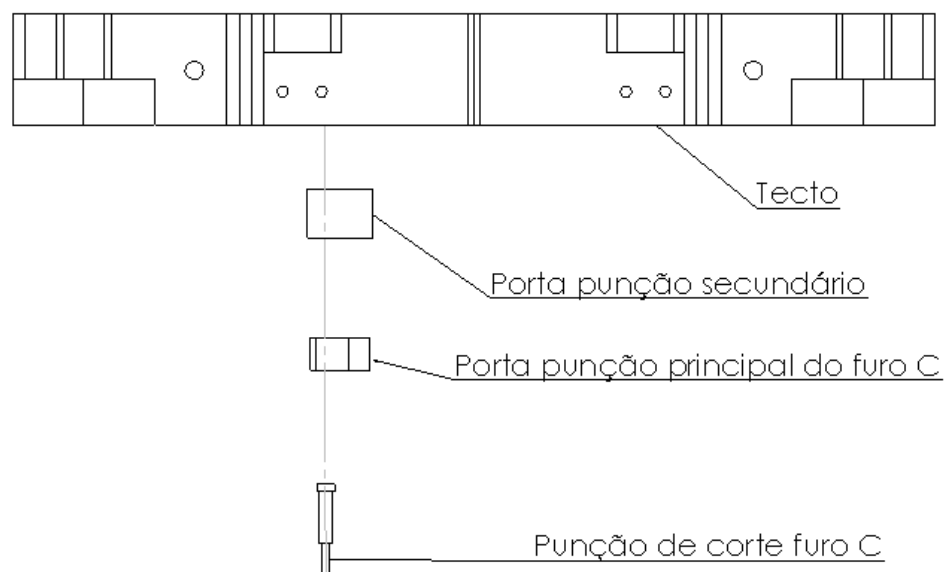


Figura 81 – Montagem dos componentes da parte superior da ferramenta que permitem obter o corte de referência C.

O punção de corte tem a tolerância total de posicionamento de $\varnothing = 0,1\text{mm}$ (ver Figura 82). Este é o desvio total para que se cumpra a especificação indicada na peça para este corte. A primeira operação de decomposição é criar uma tolerância de concentricidade entre o punção de corte e porta-punção para furo B. Para esta tolerância de concentricidade atribui-se um valor de $0,005\text{mm}$ (ver Figura 83). Será também imposta uma tolerância de perpendicularidade para que a montagem dos dois componentes não permita desvios significativos. Considera-se para o desvio de perpendicularidade um valor total de $0,01\text{mm}$.

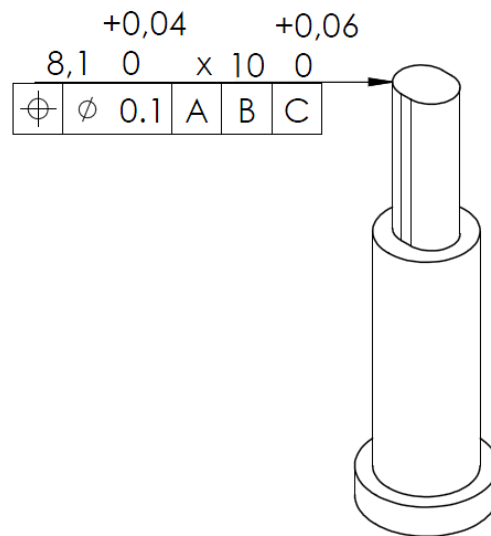


Figura 82 -Indicação das tolerâncias dimensionais e de posicionamento do punção o furo de referência C

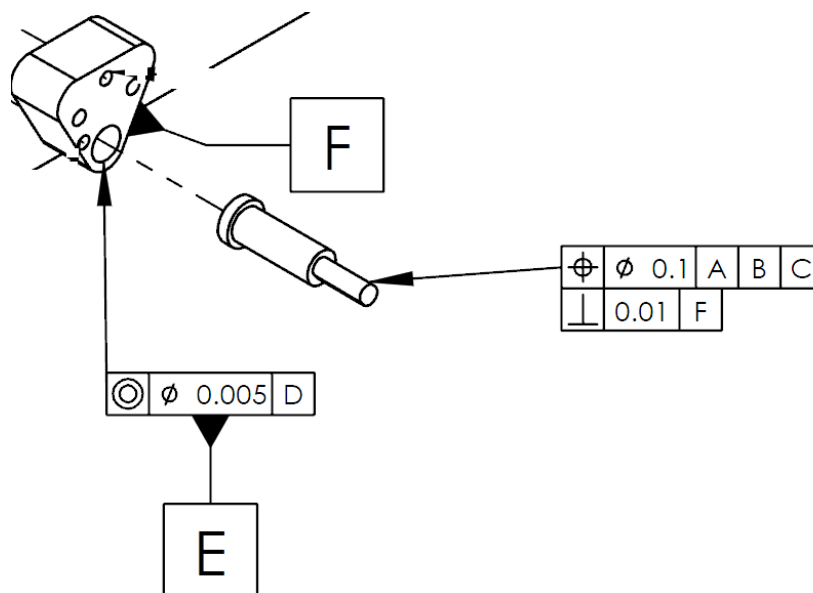


Figura 83 – Tolerâncias de posicionamento do punção e porta-punção principal.

Com os valores de tolerância de posicionamento do punção e porta-punção é possível seguir com a decomposição de tolerâncias. Nas Figura 84 e Figura 85 apresentam-se os furos que permitem as ligações entre os componentes. Nos furos passantes serão inseridas cavilhas de posicionamento para o correcto alinhamento dos componentes.

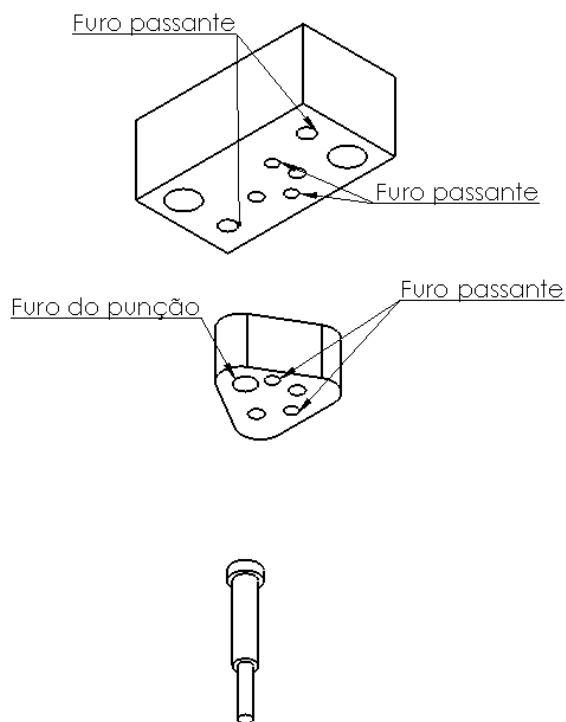


Figura 84 – Imagem dos furos que permitem a ligação dos componentes que executam o corte B.

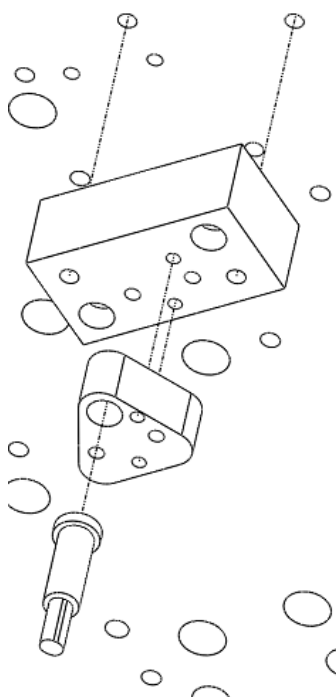


Figura 85 – Esquema de ligação dos componentes ao tecto.

Como foi determinado na parte inferior da ferramenta, para se cumprir a tolerância indicada para este corte as restantes tolerâncias serão determinadas com auxílio de esquemas que ajudam a entender estas ligações. Partindo da tolerância de posicionamento ($\phi = 0,095mm$) do porta-punção principal, determinam-se as tolerâncias para o restante conjunto. Após o porta-punção principal surge o porta-punção secundário e a base. Os furos de posicionamento onde são inseridas as cavilhas fazem parte do porta-punção principal e porta-punção secundário. Ou seja, a tolerância de posicionamento de $\phi = 0,095mm$ será dividida igualmente pelos dois componentes (ver Figura 86 e Figura 87).

$$0,095 \times \frac{2}{3} = 0,063mm$$

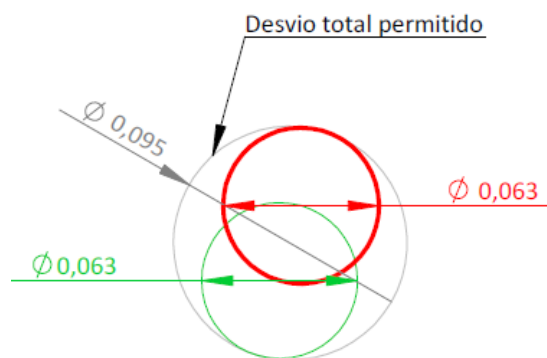


Figura 86 - Esquema da decomposição da tolerância de posicionamento do porta-punção principal para o porta-punção secundário (furo C - Tecto).

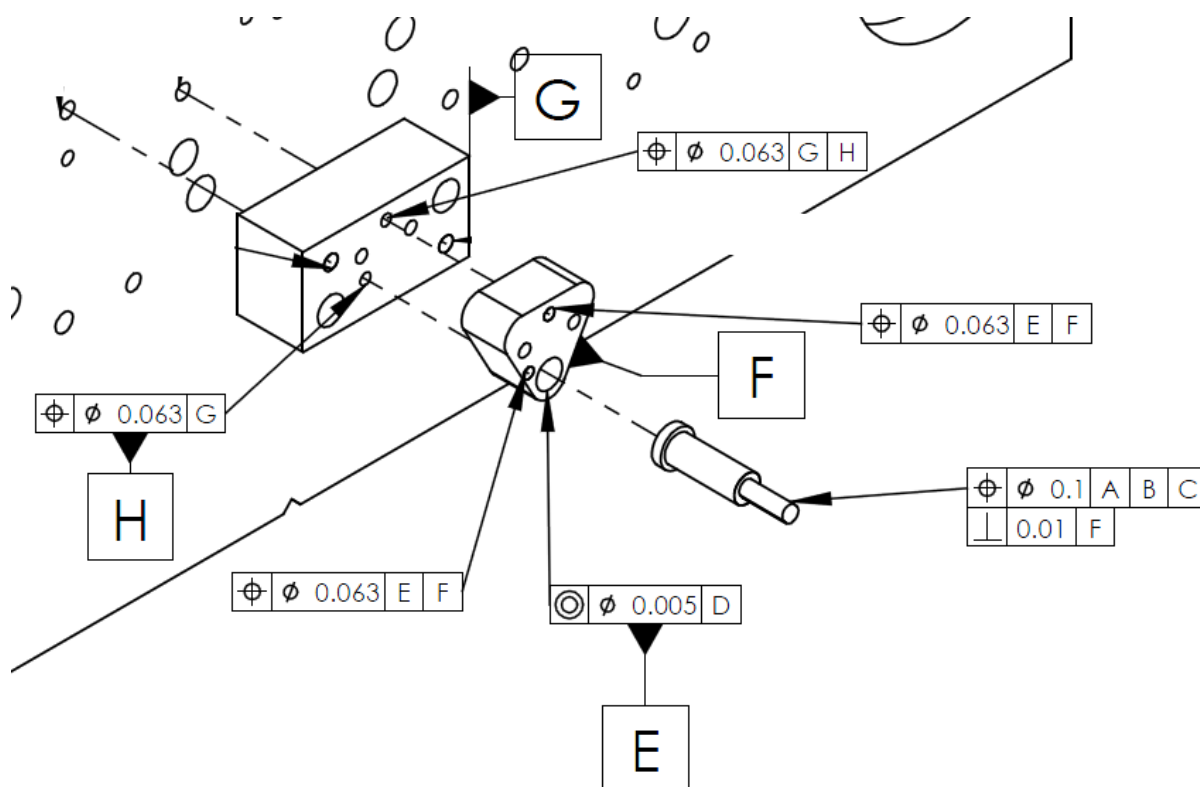


Figura 87 – Indicação da decomposição das tolerâncias do punção, porta-punção principal e porta-punção secundário (furo C).

A ligação ao tecto é feita por outros 2 furos de posicionamento através de cavilhas. Para esta última ligação é necessário decompor o valor obtido até este ponto pela última vez. Mais uma vez o esquema será idêntico (ver Figura 88 e Figura 89).

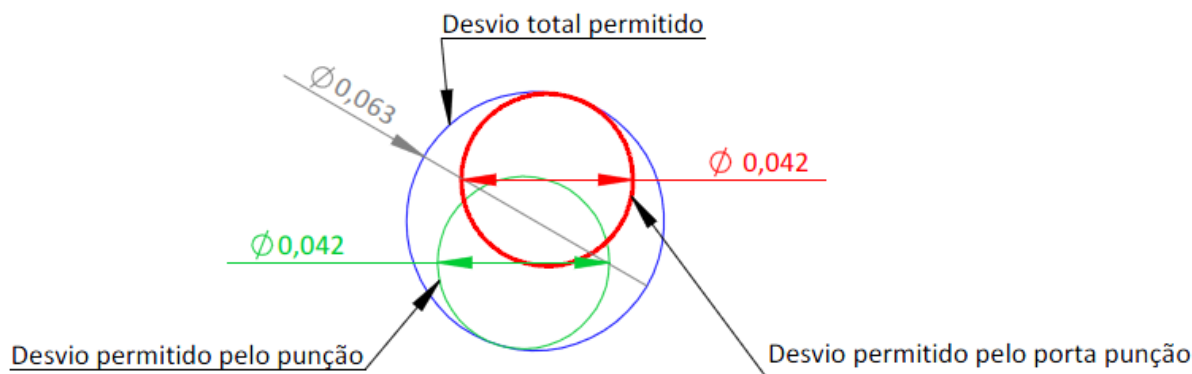


Figura 88 – Esquema da decomposição da tolerância do porta-punção secundário para a base (furo B - tecto).

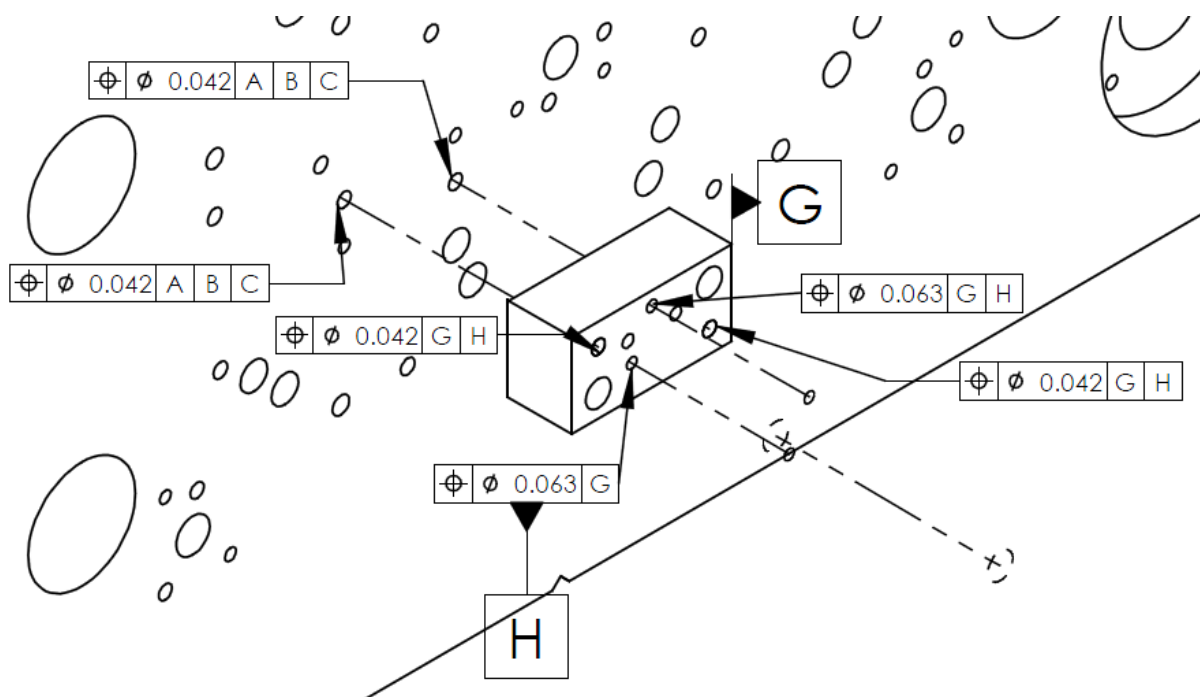


Figura 89 – Indicação da decomposição de tolerâncias do porta-punção secundário para a base (furo C - tecto).

Na Figura 90 apresenta-se o conjunto de tolerâncias que permite a ligação de todos os componentes de maneira a cumprir a especificação no desenho da peça para este furo.

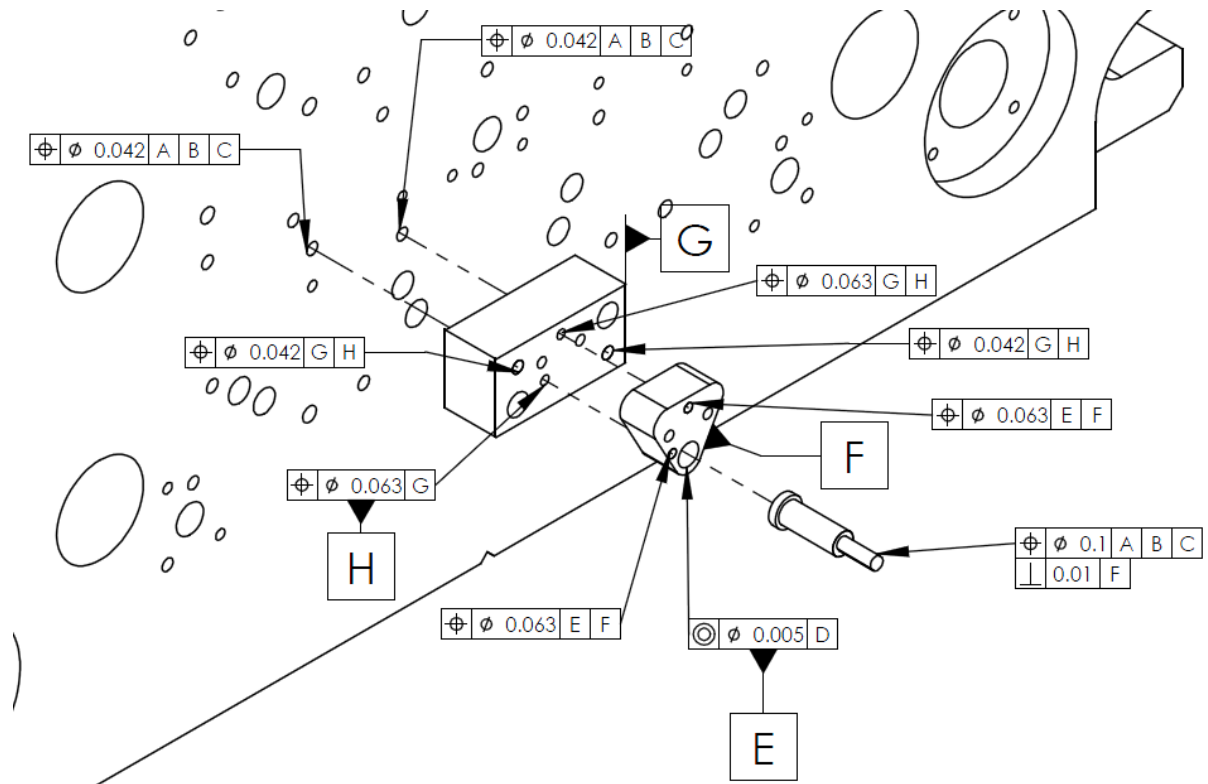


Figura 90 – Tolerâncias de posicionamento para se cumprir a especificação do furo “C” (tecto).

5 **Análise de resultados**

O desenvolvimento das cadeias de cotas foram realizados para os furos críticos especificados na peça fornecida pelo cliente. Para os restantes componentes apenas é possível determinar as tolerâncias posicionais devido à folga. Esta folga será a mesma para todos os conjuntos de matrizes e punções, pois apenas depende do material e espessura da chapa.

Os valores das tolerâncias dimensionais transmitidas para a base e o punção serão 20% da tolerância especificada no desenho da peça.

A tolerância de posição tanto da matriz como do punção é uma percentagem da folga determinada entre cada punção e matriz. Neste estudo considera-se que a percentagem indicada para a transferência do valor da folga para as tolerâncias de posição será 50%. Esta percentagem será utilizada para os furos críticos da peça. Para os restantes cortes pode utilizar-se um valor de percentagem mais elevado, o que permite obter tolerâncias não tão apertadas.

5.1 **Comparação das tolerâncias determinadas com as tolerâncias indicadas nos componentes de catálogo.**

O estudo de vários catálogos de componentes de ferramentas de estampagem serviu para adquirir maior sensibilidade no que toca aos valores de tolerâncias utilizados. Foram consultados catálogos como o da Fibro[19] , MDL[20], Steinel[21] e Enomax[22].

Após o estudo de catálogos de componentes das ferramentas de estampagem de várias marcas faz sentido analisar as tolerâncias desses componentes comparativamente com as tolerâncias determinadas. A marca com que mais trabalham é a Fibro, é uma marca alemã de grande qualidade. Mas é que ter em atenção a possibilidade do fornecer dos componentes de ferramentas ser direccionado pelo cliente.

Para o furo de referência B, para o qual foram efectuados os cálculos para determinação das tolerâncias geométricas e de posição, apresenta-se agora um punção e uma matriz de catálogo com dimensões semelhantes. Na Figura 91 apresenta-se a bucha de corte com as tolerâncias determinadas utilizando a metodologia de estudo. Nesta fase comparam-se os valores obtidos aos valores indicados nos catálogos das marcas de componentes de ferramentas de estampagem. Foi utilizado o catálogo da Fibro para esta análise. Do catálogo foram retirados as Figura 92, Figura 93 e Tabela 15 para a bucha de corte.

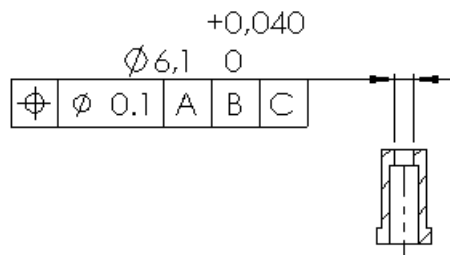


Figura 91 – Bucha de corte para o furo B com as cotas determinadas no estudo.



Figura 92 - Precision Matrixes with shoulder, cylindrical, ISO 8977.

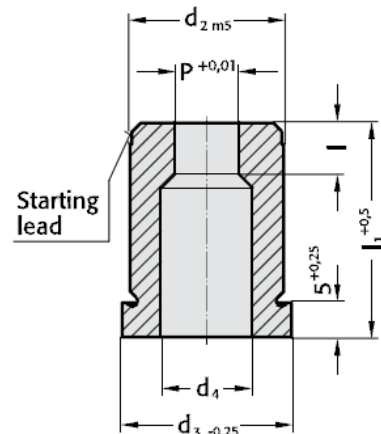


Figura 93 – Desenho com as cotas da peça.

Tabela 15 – Valores para as cotas indicadas no desenho do porta-bucha.

2617.

d ₂ / (Order No)	d ₃	d ₄	P	I / (Order No)	I ₁ / (Order Code character)							
					16 (B)	20 (C)	22 (D)	25 (E)	28 (F)	30 (G)	32 (H)	35 (J)
5 (1)	8	2,8	1,0- 2,4	2 (1)	●	●	●	●	●	●	●	●
6 (2)	9	3,5	1,6- 3,0	3 (2)	●	●	●	●	●	●	●	●
8 (3)	11	4,0	2,0- 3,5	4 (3)	●	●	●	●	●	●	●	●
10 (4)	13	5,8	2,5- 5,0	4 (3) 8 (6)	●	●	●	●	●	●	●	●
13 (5)	16	8,0	4,0- 7,0	5 (4) 8 (6)		●	●	●	●	●	●	●
16 (6)	19	9,5	6,0- 9,0	5 (4) 8 (6)		●	●	●	●	●	●	●
20 (7)	23	12,0	8,0-11,0	8 (6) 12 (8)		●	●	●	●	●	●	●
22 (8)	25	15,0	9,0-14,0	8 (6) 12 (8)		●	●	●	●	●	●	●
25 (9)	28	17,3	10,7-16,0	8 (6) 12 (8)		●	●	●	●	●	●	●
32 (10)	35	20,7	15,0-20,0	8 (6) 12 (8)		●	●	●	●	●	●	●
40 (12)	43	27,7	19,0-27,0	8 (6) 12 (8)		●	●	●	●	●	●	●
50 (14)	53	37,0	26,0-36,0	8 (6) 12 (8)		●	●	●	●	●	●	●
Other lengths on request												

A dimensão que vale realmente analisar é o diâmetro de corte, no que toca às tolerâncias. Segundo o catálogo tem-se para a bucha de corte $\varnothing = 6_0^{+0,01}$ mm, enquanto o valor determinado no estudo é $\varnothing = 6,1_0^{+0,04}$ mm. A bucha de corte do catálogo por ter valores de tolerâncias mais apertados cumpre com as exigências determinadas. Neste caso pode-se reduzir a percentagem de 20% que foi considerada para a transmissão da tolerância especificada no furo. Esta tolerância

inicialmente especificada foi transmitida para o punção e bucha de corte. Para se obter a tolerância indicada no desenho de catálogo, teria de se considerar 5% para a percentagem utilizada na transmissão de tolerâncias da peça para o porta-bucha.

Para o punção de corte obteve-se segundo o estudo $\varnothing = 6_0^{+0,04}$ mm (ver Figura 94). O mesmo punção retirado do catálogo tem $\varnothing = 6_0^{+0,01}$ mm (ver Figura 95, Figura 96 e Tabela 16). O punção de corte do catálogo por ter valores de tolerâncias mais apertados cumpre com as exigências especificadas. Para se obter a tolerância indicada no desenho de catálogo, teria de se considerar 5% para a percentagem utilizada na transmissão de tolerâncias dimensionais da peça para o punção.

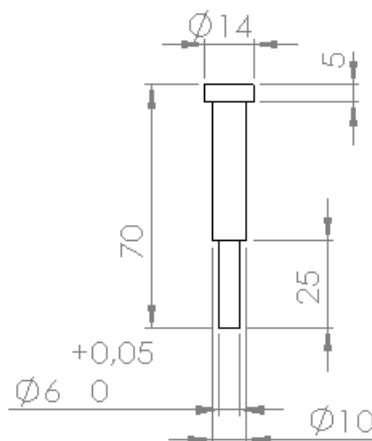


Figura 94 – Punção utilizado na ferramenta do caso de estudo.



Figura 95 - Precision Punches, stepped, ISO 8020

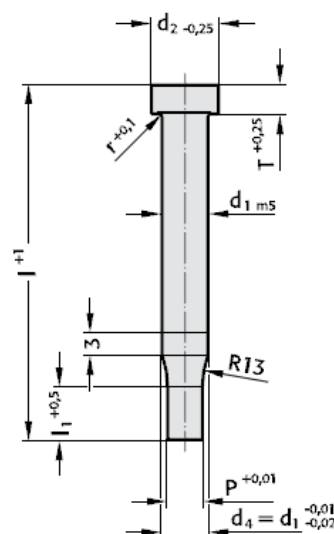


Figura 96 – Desenho do punção de corte com as cotas.

Tabela 17 - Valores para as cotas indicadas no desenho do porta-punção.

2664.02.						
d ₂	10	13	16	20	25	32
d ₃	14	17	20	24	29	36
M/D	8/9	8/9	8/9	10/11	12/13,5	12/13,5
a	43,5	49,5	52,5	59	68,5	68,5
a ₁	19,05	19,05	19,05	19,05	23,82	23,82
a ₂	34	37	38,5	42	46,5	46,5
a ₃	11,12	14,27	15,87	17,47	19,84	19,84
a ₄	10	12	13	14	16	16
b	41,0	48,5	51,5	56,5	64,5	64,5
e ₁	7,5	6,5	6	5	7	7
e ₂	26,92	29,97	31,75	33,53	40,64	40,64
e ₃	9	12	13,5	16,5	22	22
t	9	9	9	11	13	13
R ₁	9,5	12,5	14	17	22	22

Os furos das cavilhas de alinhamento são utilizados como referência para o posicionamento do furo do punção e dos furos para os parafusos de aperto. As cavilhas de alinhamento têm uma tolerância de ± 0.01 mm relativamente ao furo do punção. Relativamente aos furos para parafusos a tolerância é de ± 0.2 mm, o que confirma o facto das ligações roscadas possuírem alguma folga. No caso de estudo foi determinado que os furos das cavilhas estão interligados como furo do punção de corte e tem uma tolerância de posicionamento com $\emptyset = 0.063$ mm. Pode-se afirmar que o porta-punção do catálogo por ter tolerâncias mais apertadas cumpre as especificações determinadas no estudo. Para se obter um valor aproximado da tolerância indicada no porta-punção de catálogo, a percentagem de transferência do valor da folga para as tolerâncias de posição teria de ser reduzida de 50% para 20%.

Os componentes do furo de referência B e do furo C são idênticos, diferem apenas nas cotas e o no perfil de corte. Sendo assim é suficiente fazer esta análise para um dos furos.

Para as colunas guias que são determinantes no funcionamento da ferramenta, é utilizado geralmente o fornecer de cilindros a gás (também são componentes de catálogo) a Nitrogás, uma marca espanhola.

Torna-se também importante perceber como os componentes serão maquinados de maneira a concluir se o processo tecnológico de maquinação tem a capacidade necessária para cumprir as tolerâncias determinadas. Na Figura 99 encontra-se a imagem dos componentes principais para a realização do corte B. Na Tabela 18 é possível observar-se os componentes que são maquinados na APAL e os que são encomendados. Descreve ainda o processo tecnológico utilizado para obter cada componente.

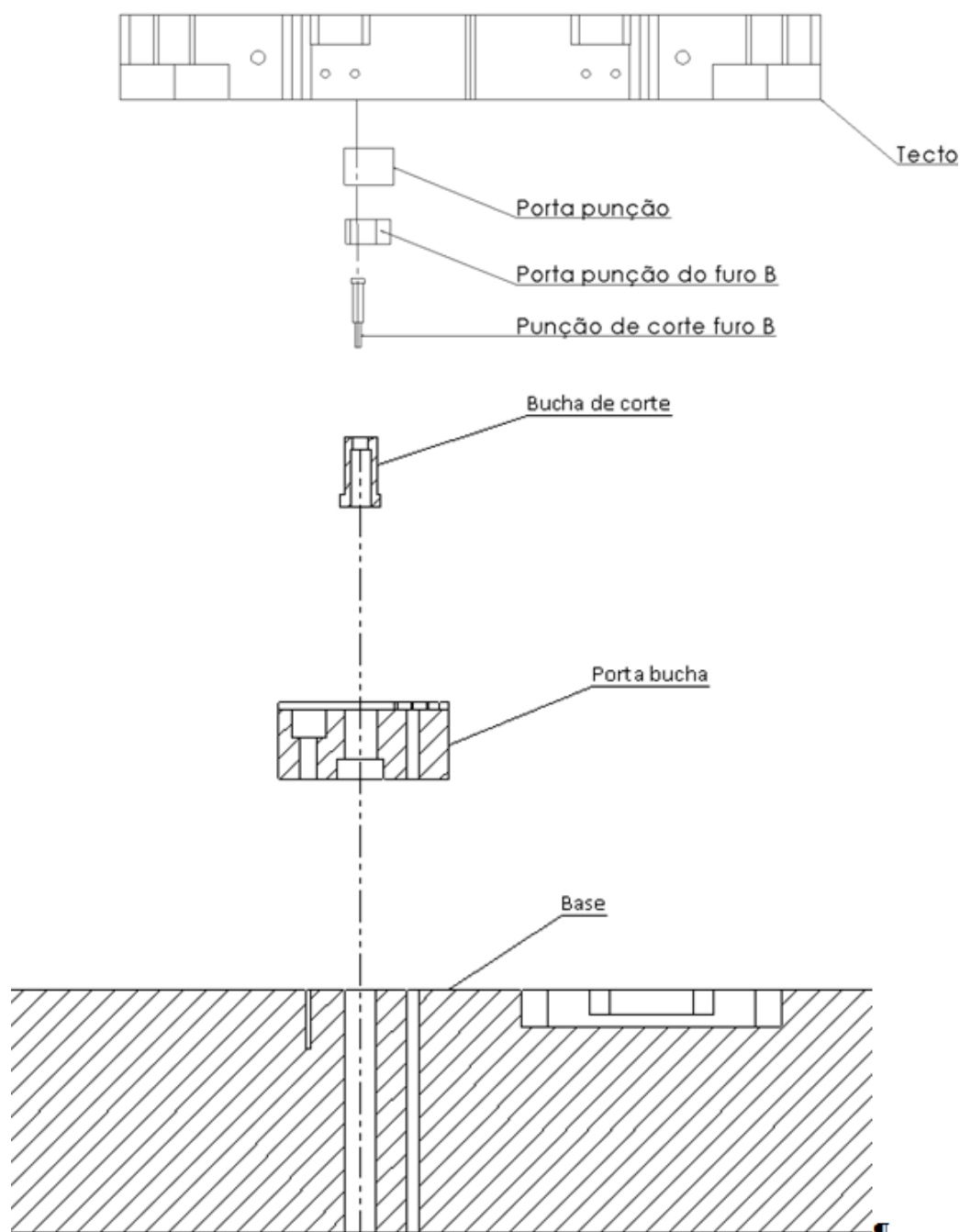


Figura 99 – Componentes principais para realização do corte B.

Tabela 18 – Processo tecnológico utilizado em cada um dos componentes principais.

Componente	Material	Origem	Processo tecnológico
Base	AÇO 1.1191	Maquinado na APAL	Oxicorte e Centro de maquinação CNC
Porta-bucha	AÇO 1.2379	Maquinado na APAL	Electroerosão
Bucha de corte	AÇO 1.2379	Peça de compra	-
Tecto	AÇO 1.1191	Maquinado na APAL	Oxicorte e Centro de maquinação CNC
Porta-punção	AÇO 1.2379	Maquinado na APAL	Electroerosão
Porta-punção principal	AÇO 1.2379	Peça de compra	-
Punção de corte	AÇO 1.2379	Peça de compra	-

O oxicorte é usado por exemplo em bases, tectos, sub tectos, sub bases, calços, etc. É usado em placas grandes com o tipo de material normalmente em 1.1191 ou ST52, geralmente material de fraca qualidade. O oxicorte realiza-se por meio da fusão localizada da peça a cortar resultante da combustão de acetileno com oxigénio, produzindo elevadas temperaturas.

O corte por electroerosão é usado como um corte de grande precisão, o oposto do oxicorte. É usado normalmente em matrizes de corte, punções de corte, porta-punções, etc. Normalmente em material 1.2379 ou aço rápido, material mais nobre e principalmente material temperado na ordem dos 60-62 HRc. Em anexo é possível observar-se os desenhos dos principais componentes obtidos por oxicorte (ver Figura 103 a Figura 114).

6 Análise de aspectos construtivos da ferramenta

Decorrente da análise funcional feita à ferramenta em estudo e do consequente projecto de tolerâncias, algumas dúvidas surgiram quanto à bondade de soluções construtivas aplicadas. De seguida apresenta-se a análise de alguns casos e formulam-se propostas supostamente de melhoria.

Não se entende qual o objectivo do porta-punção (ver Figura 100) possuir exactamente o mesmo perfil do punção correspondente (ver Figura 101), quando este punção tem por vezes formas demasiado complexas.

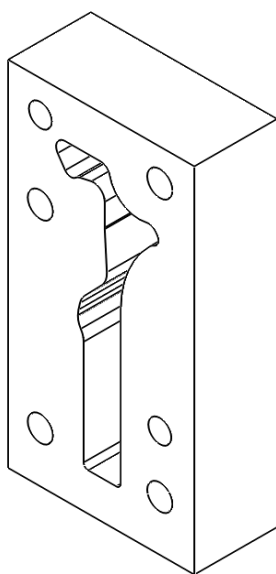


Figura 100 - Exemplo de um porta-punção

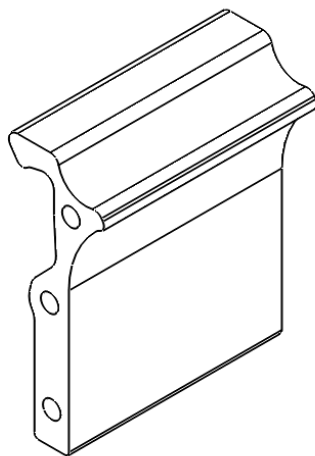


Figura 101 - Exemplo de um punção de corte

A criação de um sistema menos complexo para prender o punção e impedir que este se movimente seria uma mais-valia. Assim evitam-se os problemas de fabrico do porta-punção quando se pretendem formas complexas, reduzindo ainda o tempo de maquinação da peça. Na figura apresenta-se uma sugestão para o dispositivo de fixação do punção.

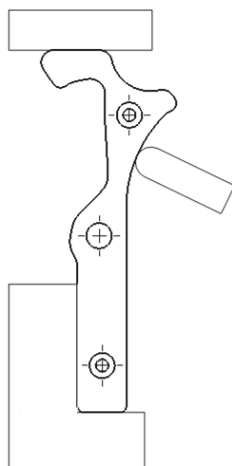


Figura 102 - Solução para o dispositivo de fixação do punção

Esta solução poderia ser aplicada sempre que o punção tiver formas complexas, simplificando deste modo o processo de fabrico do porta-punção. Para aplicação desta proposta de simplificação cada caso teria de ser analisado individualmente de maneira a perceber se é possível aplicar esta metodologia. É importante analisar o comportamento do punção de corte aos esforços a que está sujeito. Se a metodologia de simplificação não comprometer a funcionalidade do punção de corte, pode-se considerar que a sua utilização é uma mais-valia.

Para se evitarem desvios de posicionamento entre os furos das colunas de guia surge a opção em que os furos são realizados todos no mesmo aperto e na mesma operação. Montam-se sobre a base o porta-pisas e o tecto, agora sim efectuam-se os cortes. Uma vez que os furos são realizados na mesma operação de corte, eliminam-se os de posicionamento. A desvantagem é a complexa estratégia para o aperto que permite a maquinação das peças em conjunto.

7 Conclusões

No decorrer da dissertação apresentou-se um enquadramento teórico acerca do toleranciamento e importância da sua aplicação. Seguidamente, descreveu-se o desenvolvimento da metodologia de abordagem utilizada e foi ainda apresentado o caso de estudo a ser trabalhado na dissertação, que se baseia na ferramenta e peça seleccionadas.

A parte inicial desta dissertação consistiu no estudo e análise bibliográfica sobre o tema do projecto e toleranciamento. Foram resolvidos problemas, exercícios e analisados inúmeros casos de cotação de desenhos com a utilização de tolerâncias. Teve como objectivo a obtenção de competências e conhecimentos, através de estudo de documentos fornecido pelo Professor e resolução de problemas. Após a análise bibliográfica inicial seguiu-se o desenvolvimento da metodologia de abordagem. Onde ficaram especificados os passos a seguir e objectivos para implementação desta metodologia. Com a metodologia criada foi possível apresentar um caso de estudo aplicado a uma ferramenta seleccionada em conjunto com a APAL. Para entender o funcionamento das ferramentas de estampagem foi necessário estudar e analisar ferramentas das mais simples às mais complexas, como as apresentadas nas Figura 115 e Figura 116. Foram utilizadas as ferramentas de CAD Solidworks e Autocad para modelar e montar os componentes da ferramenta do caso de estudo (ver Figura 117, Figura 118 e Figura 119). A ferramenta estudada foi decomposta e cada um dos seus componentes analisados para entender de que maneira influencia a produção da peça. Em anexo encontram-se alguns dos componentes da decomposição.

Acredito ter conseguido demonstrar que passos se devem seguir para a implementação desta metodologia.

Como continuação do trabalho realizado nesta dissertação seria interessante criar uma metodologia para as operações de dobragem e quinagem, pois este trabalho apenas se foca nas operações de corte da ferramenta. Para as operações de dobragem ou quinagem será necessário outro tipo de abordagem.

Os resultados obtidos foram elucidativos demonstrando que a aplicação da metodologia desenvolvida permite tornar o projecto de uma ferramenta de estampagem mais eficiente. Tendo em conta que o estudo foi desenvolvido para uma determinada ferramenta, para a sua validação teria de ser posto à prova no projecto de outras ferramentas com diferentes características e capacidades.

8 Bibliografia

[1]	Juvinall, R. C., & Marshek, K. M, “Fundamentals of Machine Component Design, 3º Edition” John Wiley & Sons, Inc. 2000.
[2]	Center for Automotive Research and Altarum, "A Collaborative Business Model for the Tool and Die Industry," 2002.
[3]	François Villars, "Techniques de l'Ingénieur – BM 7 020 – Cotation fonctionnelle”.
[4]	Sociedade Portuguesa de Inovação. “Plano Estratégico para o sector dos moldes em Portugal” 2008.
[5]	Associação empresarial dos moldes (online) http://www.cefamol.pt 2011
[6]	Site do CENTIMFE (online) http://www.centimfe.com 2011
[7]	International Special Tooling and Machining Association. “istma_report_2002_2003”.
[8]	V. Pereira, "Definição e implementação de um sistema de orçamentação de ferramentas de estampagem," DEMI-FCT-UNL Relatório Interno de Projecto, 2007.
[9]	Nuno Sarafana “Aplicação de software CAD/CAE na concepção de ferramentas de estampagem” DEMI-FCT-UNL Relatório Interno de Projecto, 2007.
[10]	Mourão, António. – “Dimensionamento funcional e tecnológico” (Apontamentos didácticos), UNL-FCT-DEMI 2004.
[11]	Ford “Geometric Dimensioning and tolerancing (GDT)” , Ansi Y14.5M – 1982.
[12]	Philippe Villers, “Introducing MCAE: Expert Tools for Engineering”, Computers in Mechanical Engineering, December 1987
[13]	Norma ISO 1101- 1983. Dessins techniques – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement – Généralités, définitions, symboles indication sur les dessins
[14]	Smith, David Alkire. – “Die Design Handbook”. Copyright 1990 by Society of Manufacturing Engineers (SME). ISBN 0-87263-375-6
[15]	Wick, Charles. – “Tool and Manufacturing Engineers Handbook”. Fourth Edition, Volume II Forming. Copyright 1984. ISBN 0-87263-135-4
[16]	Engº F. Provenza “Estampos volume 2” Edição 1990
[17]	Engº F. Provenza “Estampos volume 1” Edição 1990
[18]	Neştian, G., Gonçalves-Coelho, A.M. (2006) “Considering the Emerging Interactions at the Preliminary Design Process”, Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi, Tomul LII (LVI), Fasc. 5A, Secţia Construcţii de Maşini, pp. 1537-1540.
[19]	Fibro (online) (http://www.fibro.de/en/standard-parts/downloads.html?eID=dam_frontend_push&docID=2085) 30-08-2012

[20]	MDL (online) (http://www.mdl-rodin.com/uk/poincons.htm) 30-08-2012
[21]	Steinel (online) (http://www.steinelnormalien.de/download/steinel-normalien-catalog-04-fr.pdf) 30-08-2012
[22]	Enomax (online) (http://www.enomax.fr/pdf/max-poincons-matrices.pdf) 30-08-2012

9 Anexos

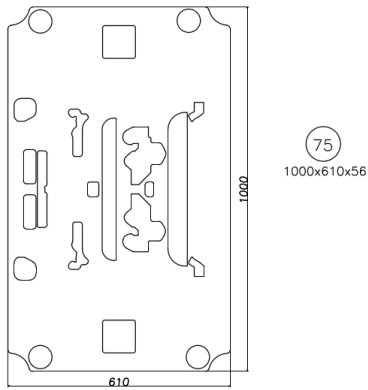


Figura 103 – Porta-pisa após oxicorte.

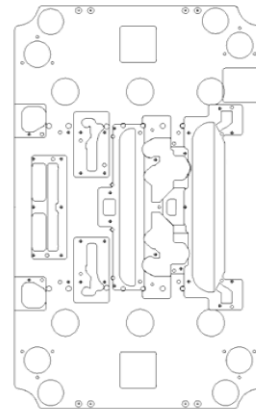


Figura 104 – Porta-pisa maquinado.

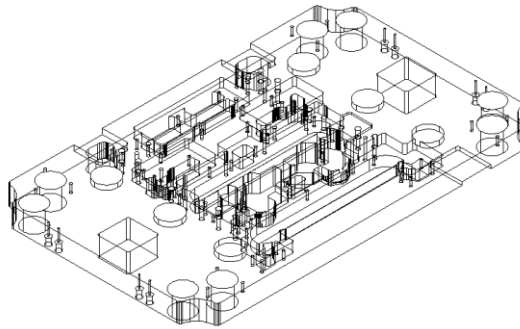


Figura 105 – Porta-pisa maquinado, em perspectiva.

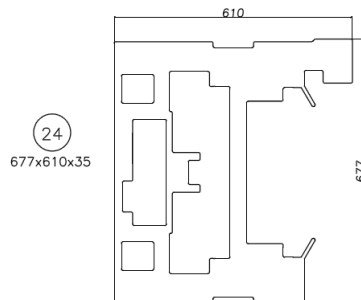


Figura 106 – Berço após oxicorte.

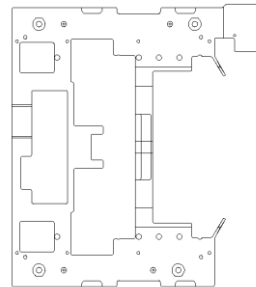


Figura 107 – Berço maquinado.

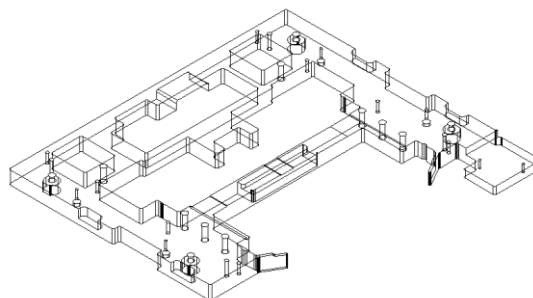


Figura 108 – Berço maquinado, em perspectiva.

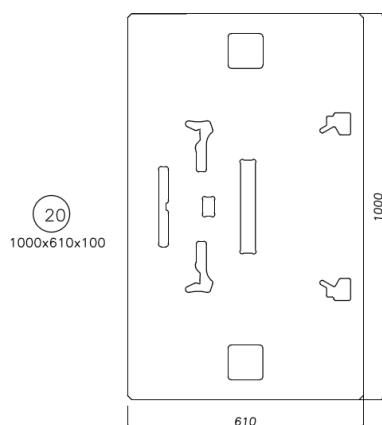


Figura 109 – Base após Oxicorte.

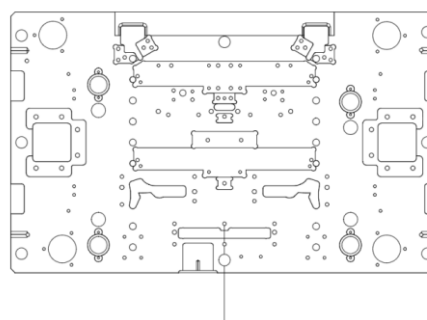


Figura 110 – Base maquinada

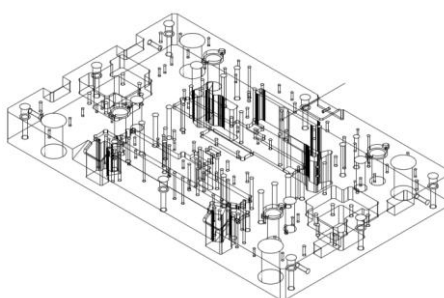


Figura 111 – Base maquinada, em perspectiva.

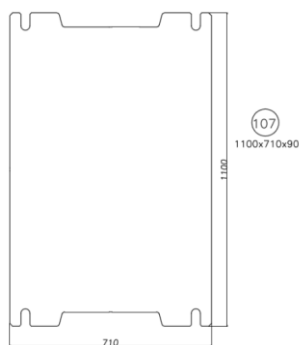


Figura 112 – Tecto após Oxicorte.

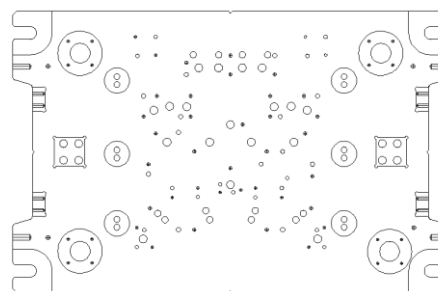


Figura 113 – Tecto maquinado.

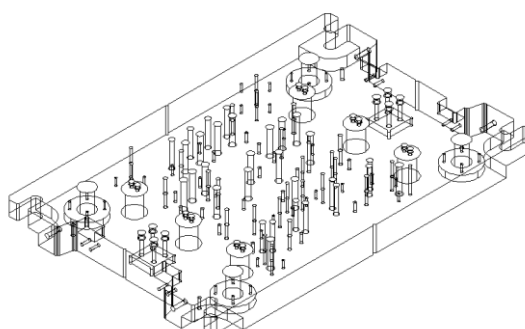


Figura 114 – Tecto maquinado em perspectiva.

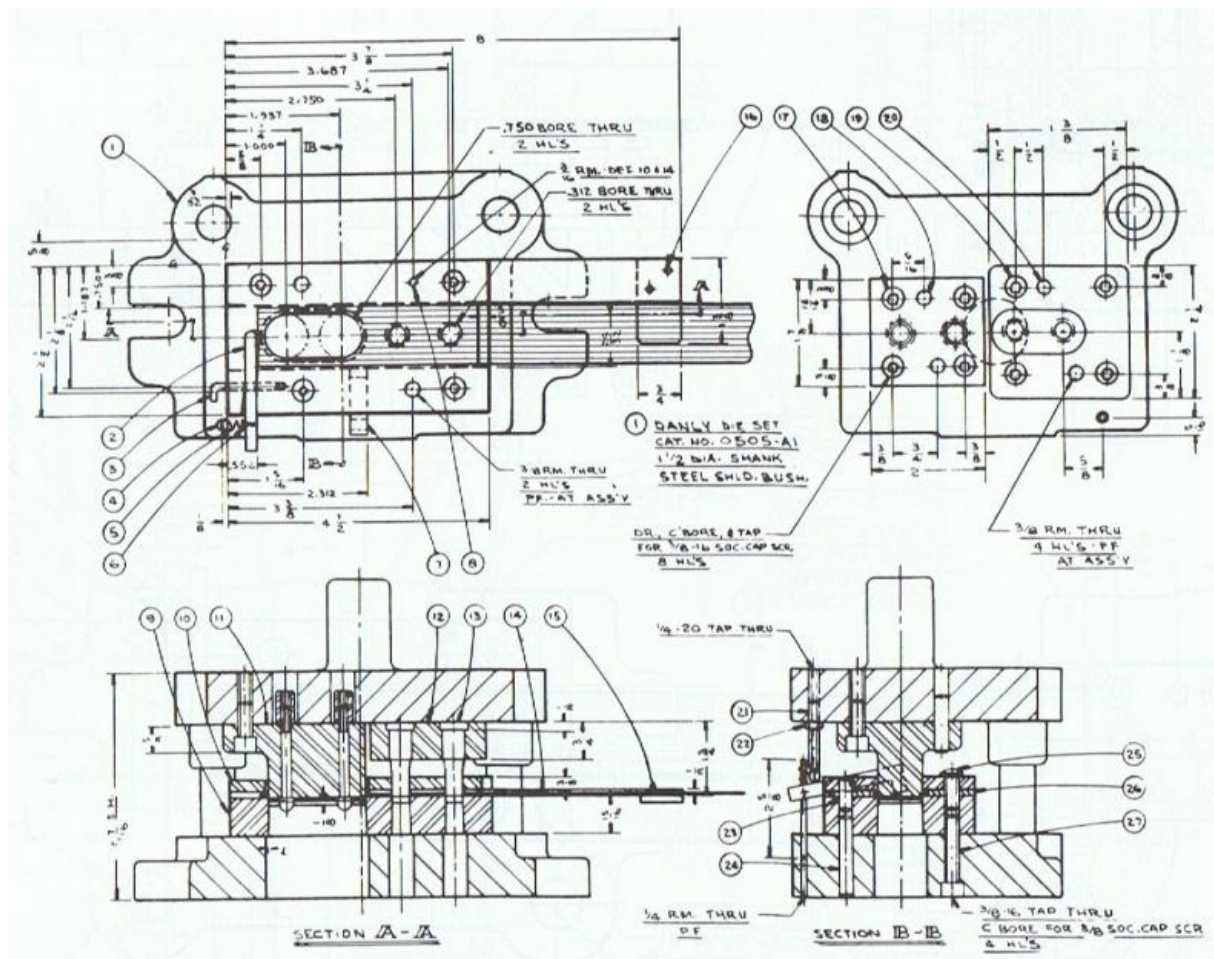


Figura 115 – Exemplo do desenho completo de uma ferramenta.

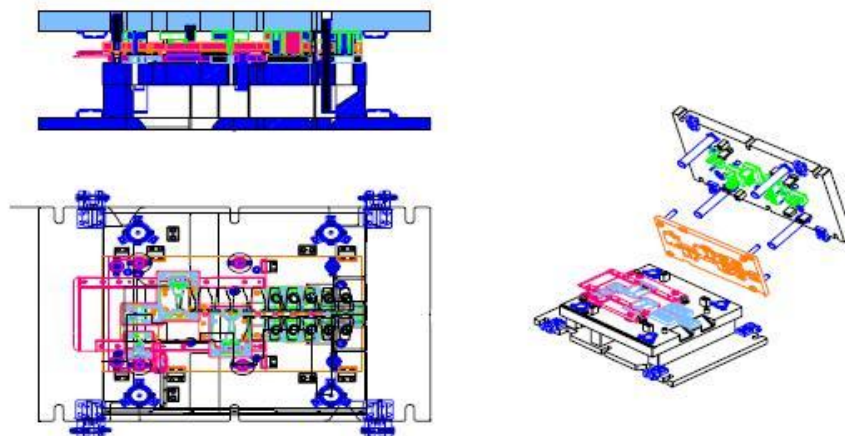


Figura 116 – Exemplo de ferramenta progressiva de estampagem.

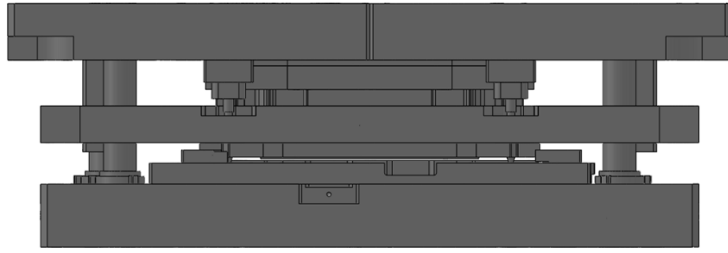


Figura 117 - Imagem da ferramenta do caso de estudo na posição fechada. Desenhado em Solidworks.

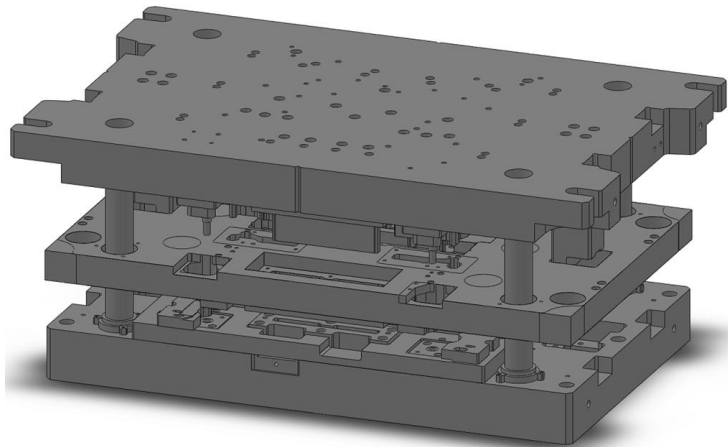


Figura 118 - Imagem em perspectiva da ferramenta do caso de estudo na posição elevada. Desenhado em Solidworks.

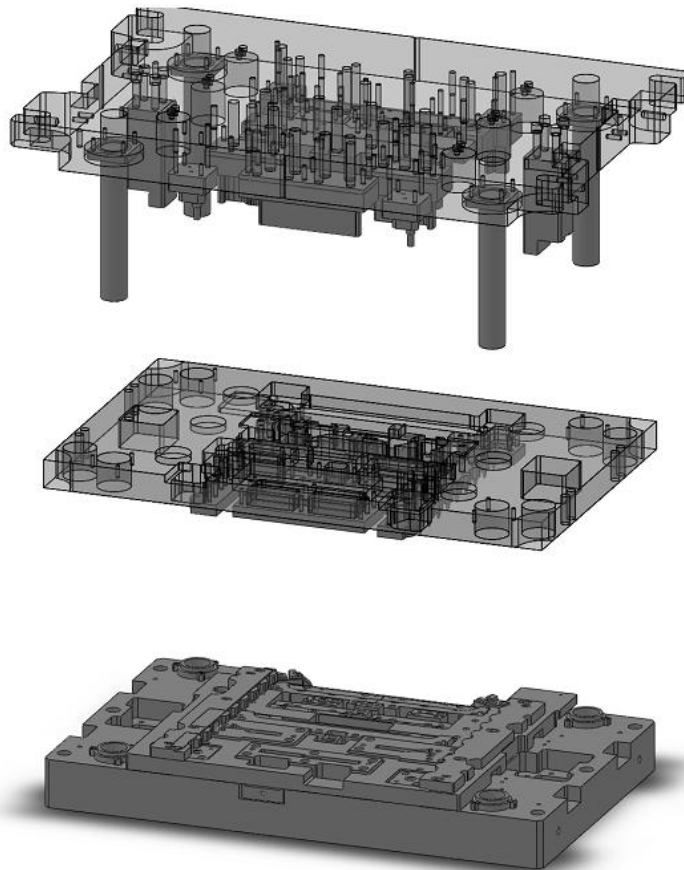


Figura 119 – Imagem da ferramenta explodida. Desenhado em Solidworks.

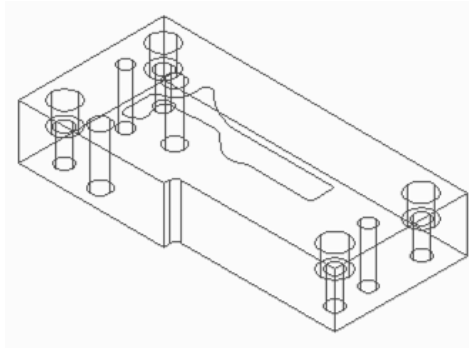


Figura 120 - Matriz_1-: para recorte do perfil lateral.

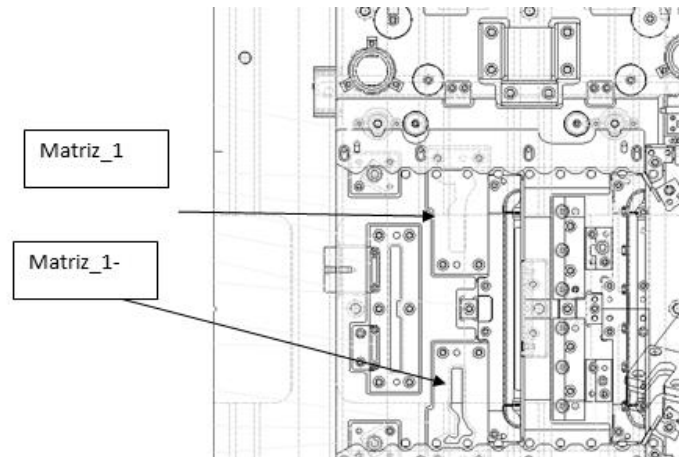


Figura 121 – Montagem da matriz_1 e matriz_1-: para recorte do perfil lateral.

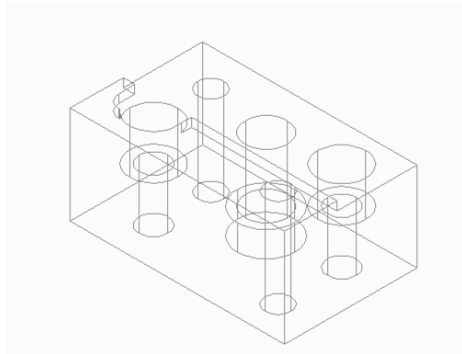


Figura 122 – Porta-bucha2 para corte de referência B

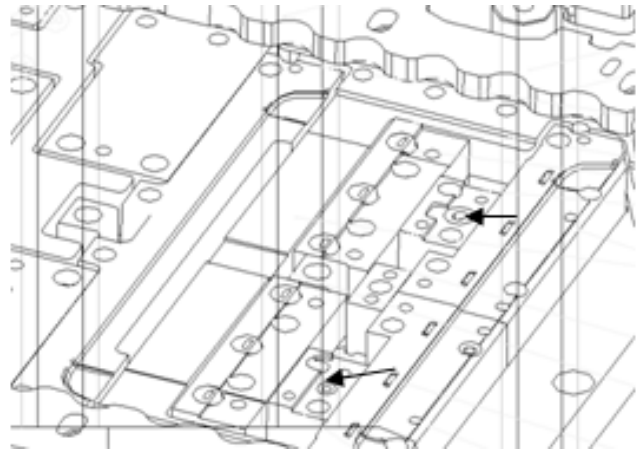


Figura 123 – Porta-bucha2 e Porta-bucha3 para realização dos cortes de referência B e C.

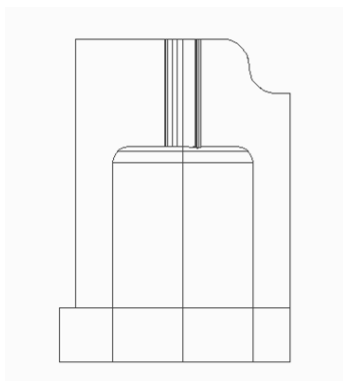


Figura 124 – Bucha para corte de referência B.

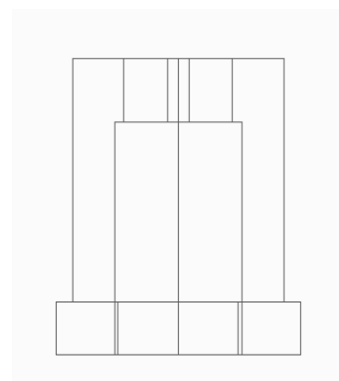


Figura 125 - Bucha para corte de referência C.

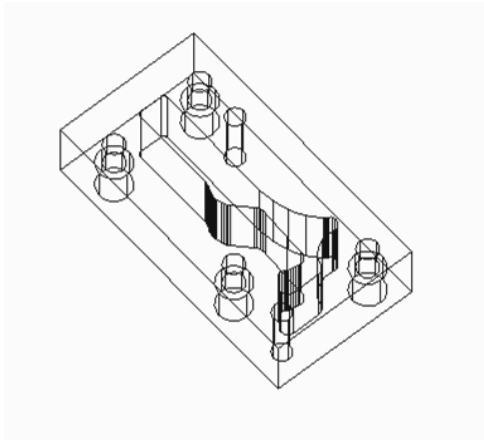


Figura 126 – Porta-punções_9.

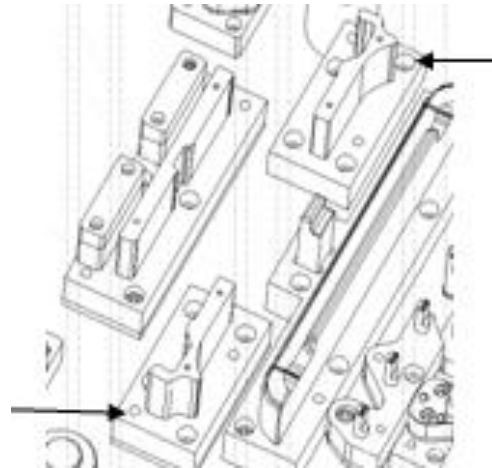


Figura 127 – Montagem do porta-punções_9.

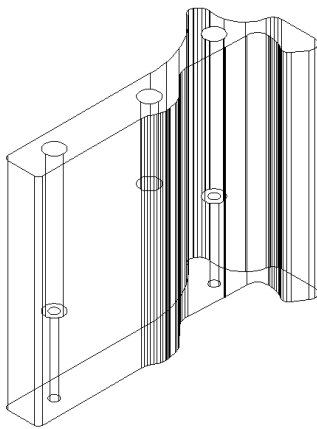


Figura 128 - Punção de corte_3.

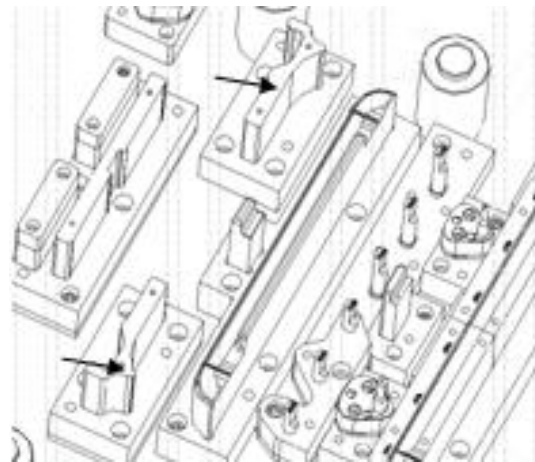


Figura 129 – Montagem do punção de corte_3.